

A high-speed train, possibly a Shinkansen, is shown in motion on a track. The train is white with a red nose and is blurred to indicate speed. The background is a blurred landscape.

FÍSICA

Volume 01





FÍSICA Volume 01

Frente A

01 3 Introdução à
Cinemática escalar e
Movimento Uniforme
Autor: Francisco
Pazzini Couto

02 15 Movimento
Uniformemente
Variado e Movimento
Vertical Autor:
Francisco Pazzini
Couto

Frente B

01 25 Termometria e
dilatometria Autor:
Luiz Machado

02 39 Propagação de
calor Autor: Luiz
Machado

Frente C

01 49 Fundamentos
da óptica geométrica
Autor: Lívio Ribeiro
Canto

02 61 Reflexão da
luz e espelhos planos
Autor: Lívio Ribeiro
Canto

Sumário - Física Frente D 01

69 Eletrização Autores: Luiz Machado Lívio
Ribeiro Canto

02 81 Força elétrica
Autores: Luiz Machado

Lívio Ribeiro Canto

03 91 Campo
elétrico Autores: Luiz
Machado

Lívio Ribeiro Canto

Introdução à Cinemática 01 A escalar e Movimento Uniforme

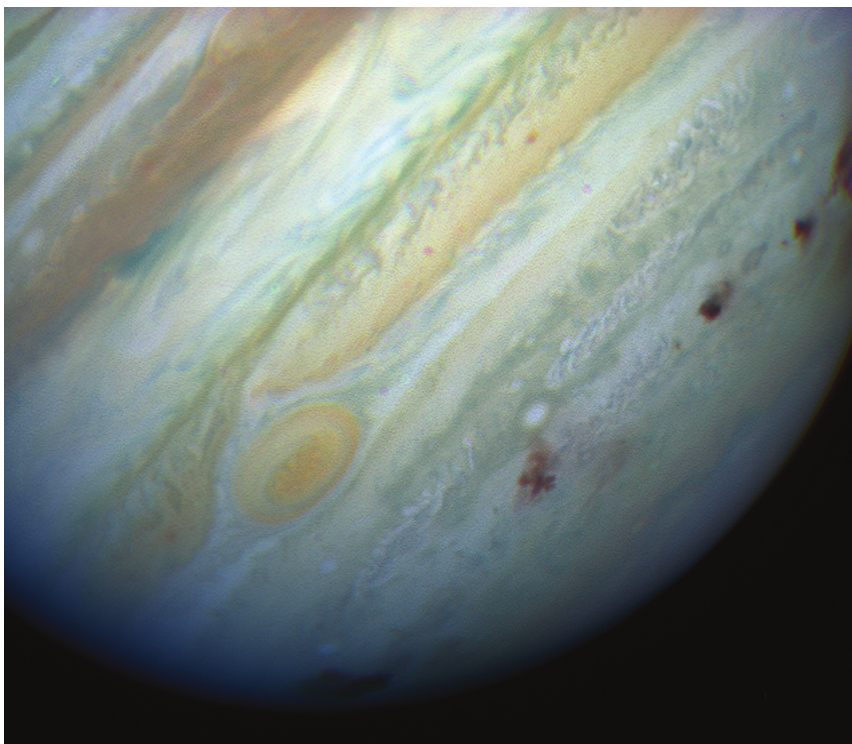
O estudo do movimento pode ser considerado como o Mas, para entender por que o cometa Shoemaker-Levy 9,

ponto de partida para o que chamamos hoje de Ciências em 1994, se desintegrou em vários pedaços antes de colidir

da Natureza. Ao voltar seus olhos (e pensamentos) para os com Júpiter (pontos escuros da figura a seguir), temos de

céus, os homens, através dos tempos, perceberam que a considerá-lo condensado como um corpo extenso.

maioria das luzes formavam figuras nos céus e que estas se



mantinham com o mesmo formato ao longo das estações.

Porém, algumas poucas luzes (planetas, que, em grego,

quer dizer estrelas errantes) mudavam constantemente de

posição, sempre se movendo ao longo de uma estreita faixa

no céu, a mesma faixa na qual se moviam o Sol e a Lua.

A busca da compreensão desse fenômeno da natureza, com

a criação de teorias para as causas desses movimentos

NASA

e com a previsão do horário e do local de surgimento de

determinado astro, marcou o início do árduo esforço do

pensamento humano para construir um modelo do mundo

onde vivemos. O estudo do movimento dos corpos celestes e,

posteriormente, o estudo dos objetos na superfície da Terra

deram início à chamada Revolução Científica.

Didaticamente, dividimos o estudo dos movimentos em

duas partes, uma associada aos movimentos e suas causas, isponível em:

Hubble Space Telescope Comet Team and D

a Dinâmica, e outra associada à descrição dos movimentos, *Júpiter pode ser considerado um ponto material ou um corpo*

a Cinemática. *extenso, dependendo da situação que desejamos estudar.*

Este módulo é dedicado à descrição dos movimentos
Apresentamos a seguir dois conceitos que estão

mais simples e envolve o estudo de grandezas como intimamente associados: posição e trajetória. Ao pensarmos

posição, velocidade, trajetória, entre outras. Neste

módulo, em um dos conceitos, o conectamos imediatamente ao

iniciaremos o estudo da Cinemática, abordando o movimento outro. Veja a figura a seguir, que mostra o rastro de aviões

com velocidade constante. de exibição.



Posição E TRAJETÓRIA

Se o planeta Júpiter, mostrado na figura, fosse uma esfera

oca, caberiam dentro dele cerca de 1 000 planetas Terra,

aproximadamente. Apesar disso, quando visto da Terra,

a olho nu, Júpiter não passa de uma bela “estrela” brilhante.

Quando a dimensão dos corpos envolvidos na descrição

de um movimento (os móveis) não for importante para

a análise da situação, esses corpos serão chamados

de **pontos materiais**, em oposição ao termo **corpos** ^{XCS} **extensos**. Desse modo, Júpiter é considerado um ponto

material, quando desejamos prever e observar o instante *A fumaça liberada pelos aviões de exibição pode nos indicar a*

de seu nascimento no horizonte, em um determinado dia. *trajetória deles no ar.*

Editora Bernoulli 3

Frente A Módulo 01

Denominamos de trajetória o conjunto de posições

REFERENCIAL E A FoRMA DA

sucessivas ocupadas por um móvel. Para que possamos

TRAJETÓRIA localizar a posição de um móvel

no espaço, podemos utilizar

vários métodos. Por exemplo, para localizar a posição de um

avião no espaço, podemos utilizar, na torre de comando do Resposta rápido: você está em repouso ou em movimento

no momento em que está lendo este trecho do texto?

aeroporto, um sistema de coordenadas cartesianas, com

eixos x , y e z perpendiculares entre si, que nos auxiliarão Caso você tenha pensado bem, provavelmente respondeu...

a localizar as posições ocupadas pelo avião em momentos *depende*. A noção de movimento ou de repouso é sempre

diferentes de seu movimento. Iremos considerar um ponto relativa a outro objeto. Estamos em repouso em relação

da base da torre de comando como a origem de nosso à cadeira em que estamos sentados, mas estamos em

movimento em relação a alguém que se encontra na
Lua, em

sistema de coordenadas, usualmente representada pela

uma estação orbital ou em um carro que passa na rua.
O corpo

letra O , e iremos escolher uma unidade de

comprimento

em relação ao qual identificamos se um objeto
encontra-se ou

para a escala dos eixos x , y , z . Utilizando tais
convenções, não em movimento é denominado
referencial ou **sistema**

podemos localizar a posição do avião no espaço, em
de referência. Na maioria dos exemplos citados em
nosso

qualquer posição que ele esteja. Observe que, no
exemplo curso, e em nosso cotidiano, utilizamos o solo
(Terra) como

apresentado, os valores das posições do avião em
relação nosso sistema de referência. De tão utilizado
como sistema

aos eixos x , y e z podem ser positivos ou negativos. de
referência, muitos o consideram condesado como um
sistema absoluto, mas isso não é correto. Movimento e



repouso são sempre conceitos relativos. Se a posição de

Z um objeto variar em relação a um determinado referencial, à medida que o tempo passa, então esse objeto encontra-se

em movimento em relação a esse referencial.

Assim como o movimento e o repouso são conceitos

X relativos, a trajetória observada de um

objeto em
movimento

O também o é. O movimento de um
corpo, visto por um

determinado observador, depende do referencial em
que se
encontra esse observador. Por exemplo, considere um
trem

que está passando em uma estação, conforme
representado

na figura a seguir. Para Alberto, um passageiro do
trem,

a lâmpada L, fixa no teto do vagão, está parada.
Entretanto,

y_{ver / Divulgação} essa mesma lâmpada está em
movimento para Leopoldo, o guarda que se
acha na plataforma.

Aeroporto de Den

Um operador de radar que estivesse na base da torre
de comando, se preparando para ir trabalhar, ocuparia
a

posição representada pela letra s, cujas coordenadas
seriam Alberto

$x = 0$, $y = 0$ e $z = 0$, isto é, $s = (0, 0, 0)$. Já um colega de Interior do trem

trabalho que está prestes a ser substituído ocuparia a posição

$s' = (0, 0, 60 \text{ m})$, considerando que a sala de comando

esteja a 60 m de altura em relação à base da torre (origem

Leopoldo

do sistema de coordenadas). Estação

de
trem

Para o passageiro, a lâmpada está em repouso, mas, para o

*guarda,
ela está
em
movimento.*



PARA REFLETIR



O mesmo raciocínio pode ser usado para o estudo da



Um caminhão ocupa a posição $s = 450$ km da BR
trajetória de um corpo. Por exemplo, na
situação anterior,



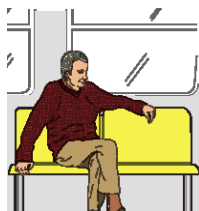
101, que liga o Rio Grande do Norte ao Rio Grande
imagine que a lâmpada se desprenda do teto
e caia em



do Sul. Isso indica que o caminhão percorreu direção ao
piso do trem. Em relação ao referencial da



450 km? Podemos dizer que ele está indo para o estação, a lâmpada continuará se movendo para a direita,



Rio Grande do Sul? com a mesma velocidade do trem. Na direção vertical,

a velocidade da lâmpada aumentará durante a queda.

4 Coleção Estudo

Introdução à Cinemática escalar e Movimento Uniforme

O resultado dessa composição de movimentos é que
Observe que, se você substituir, nessa equação, a distância

Leopoldo enxerga a lâmpada caindo e se deslocando para percorrida pelo carro e o tempo gasto para percorrê-la,

a direita, segundo uma trajetória curvilínea. Como Alberto, você obterá exatamente o valor da velocidade escalar

dentro do trem, se movimenta para a direita com a mesma média que nós havíamos intuído: $v = 30/0,5 = 60 \text{ km/h}$._m

velocidade horizontal da lâmpada e do trem, ele vê a Esse valor não indica que o carro tenha percorrido o trajeto

lâmpada caindo verticalmente. Exploraremos situações como de casa ao trabalho sempre com a velocidade de 60 km/h.

essa, de forma mais detalhada, quando abordarmos o estudo Em alguns momentos, o motorista deve ter parado o carro

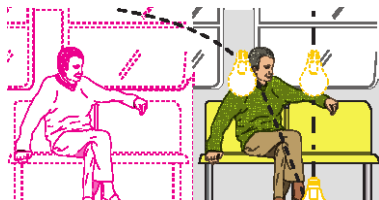
da composição de movimentos. em alguns cruzamentos, em outros, o motorista deve ter

aumentado a velocidade de seu carro a um valor acima

de 60 km/h para, por exemplo, ultrapassar outro veículo.



A interpretação do valor da velocidade média é a seguinte:



se o carro se movesse sempre a 60 km/h (situação teórica),

ele percorreria a distância em questão no mesmo intervalo

Alberto de tempo da situação real.

do trem De modo geral, define-se a velocidade escalar média Interior



de um ponto material como a razão entre a variação

de posição (Δs) e o intervalo de tempo gasto (Δt), como representado na figura a seguir:

Leopoldo Trajetória vista por Alberto s Estação2 Trajetória vista por Leopoldo s 1 Δs + de trem

VELOCIDADE ESCALAR MÉDIA $\frac{\Delta s}{\Delta t}$

corpo em movimento. Esse conceito é muito importante, $s = s_1 \Delta s$ v Agora, vamos definir a velocidade escalar média de um

e iremos utilizá-lo em várias situações. Para entender
 $a t - t t_{21} \Delta$

ideia de velocidade média, imagine a seguinte
 situação: **FÍSICA VELOCIDADE**
ESCALAR

em uma manhã, um homem sai de carro para o
 trabalho e

decide registrar o tempo que gasta para chegar a seu
 destino

e também a distância percorrida nesse trajeto. Para
 isso, **INSTANTÂNEA** ele anota a
 quilometragem do carro quando sai de casa e

também quando chega ao trabalho, bem como os
 respectivos

A figura seguinte representa um dispositivo para
 medir

instantes de tempo (a hora do dia). Para esse fim,
 utilizou o

a velocidade de automóveis instalado nas ruas de
 algumas

odômetro e o relógio do painel do carro, obtendo os
 valores

idades

do
Brasil.

indicados nas figuras seguintes:

Velocidade
limite
60 km/h

S₁

S₂

Central de
controle

De acordo com as leituras da quilometragem e da hora

feitas no painel do carro nos dois momentos, o carro percorreu

uma distância de 30 km em um intervalo de tempo igual a máquina fotográfica Envio de sinal para a 0,5 hora. Isso significa que, nesse mesmo ritmo, em uma

hora, ele percorreria 60 km, isto é, sua velocidade escalar *Representação do esquema de um sensor de velocidade utilizado*

média é de 60 km/h. Definimos a velocidade escalar média *em vias urbanas.*

da seguinte forma: Simplificadamente, os “radares” funcionam da seguinte

maneira: dois sensores são instalados na pista, um a



poucos metros de distância do outro. Esses sensores



v = distância total percorrida



m detectam a presença de objetos que tenham metal e

-

tempo total gasto



disparam quando um objeto metálico passa por eles.

-

Editora Bernoulli 5



-





Frente A Módulo 01

Dessa forma, quando um automóvel passa sobre o primeiro sensor, este dispara um cronômetro. Quando o automóvel **passa sobre o segundo sensor**, o cronômetro cessa a medição. Um computador registra o intervalo de tempo Δt . O desenvolvimento da equação $v = \Delta s / \Delta t$ resulta em:

Quando o automóvel **passa sobre o primeiro sensor**, este dispara um cronômetro. Quando o automóvel **passa sobre o segundo sensor**, o cronômetro cessa a medição. Um computador registra o intervalo de tempo Δt . O desenvolvimento da equação $v = \Delta s / \Delta t$ resulta em:

Quando o automóvel **passa sobre o primeiro sensor**, este dispara um cronômetro. Quando o automóvel **passa sobre o segundo sensor**, o cronômetro cessa a medição. Um computador registra o intervalo de tempo Δt . O desenvolvimento da equação $v = \Delta s / \Delta t$ resulta em:

Quando o automóvel **passa sobre o primeiro sensor**, este dispara um cronômetro. Quando o automóvel **passa sobre o segundo sensor**, o cronômetro cessa a medição. Um computador registra o intervalo de tempo Δt . O desenvolvimento da equação $v = \Delta s / \Delta t$ resulta em:

intervalo de tempo gasto

para percorrê-la, é possível determinar o ritmo em que as

posições do automóvel variaram, isto é, pode-se determinar $s = s_0 + vt$ (função horária da posição no MU) o

a velocidade média do carro em um intervalo de tempo

muito pequeno, ou seja, podemos determinar a **velocidade** Imagine que um carro tenha saído de um posto de gasolina

escalar instantânea (v) do automóvel. na beira de uma estrada, no qual estava indicada sua posição na

estrada, km 781. Considere que essa seja sua posição inicial (s_0). o



$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, quando Δt é muito pequeno (tende a zero). será a sua posição após 4 horas de viagem, sabendo que $s_0 = 781$ km. Se a velocidade do carro é constante e igual a 80 km/h, qual



Δt



ele se move no sentido crescente da trajetória?

Podemos citar outras situações em que um intervalo de

Podemos raciocinar do seguinte modo:

tempo tende a zero. Por exemplo, quando registramos uma cena na qual um objeto se move, utilizando uma

1.^a) Um carro viajando a 80 km/h, durante 4 h, percorrerá

máquina fotográfica, podemos obter resultados variados: 320 km; às vezes, os objetos em movimento aparecem “borrados”

na imagem e, outras vezes, aparecem “estáticos”. Tudo

2.^a) Se ele sai do km 781 e percorre mais 320 km no

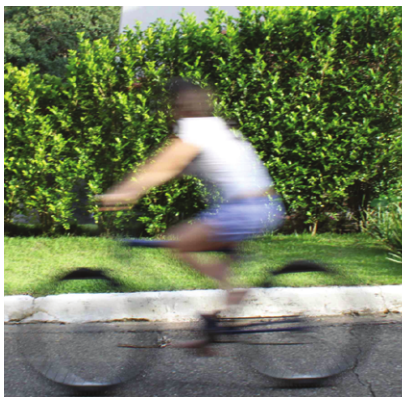
isso está associado ao intervalo de tempo (Δt) utilizado sentido crescente das posições, então ele estará no

para registrar a cena. Se o intervalo de tempo é grande, km 1 101 após 4 h. a fotografia dos objetos que se movem aparece “borrada”;

caso contrário, a imagem aparece “estática”, mesmo que Podemos resolver esse problema utilizando a função

os objetos estejam a grandes velocidades. horária da posição para o MU, $s = s_0 + vt$, que é a expressão 0

matemática do raciocínio usado na resolução anterior.



$$s = 781 \text{ km} + 80 \text{ km/h} \cdot 4 \text{ h} = 781 \text{ km} + 320 \text{ km}$$



$$s = 1101 \text{ km}$$



GRÁFICO VELOCIDADE VERSUS

TEMPO
No
MU

Editoria de Arte

As imagens fotográficas são registradas quando uma superfície Quando o movimento ocorre no sentido crescente das

sensível recebe luz. A primeira imagem foi obtida deixando a luz
posições (por exemplo, do km 30 para o km 90), ele é
entrar na máquina durante 1/30 do segundo, enquanto que a
denominado **progressivo**, sendo, nesse caso, o valor
da

segunda foto foi obtida de modo mais rápido, 1/300 do segundo,
velocidade positivo ($v = \Delta s / \Delta t$ e Δs é positivo). Caso
o

deixando a imagem fi nal estática. movimento ocorra no
sentido decrescente das posições

(do km 90 para o km 30), é denominado **retrógrado**,

MOVIMENTO UNIFORME e o valor da
velocidade apresenta sinal negativo, pois Δs é
negativo. Desse modo, se alguém lhe disser que a

velocidade de um carro é de -70 km/h , isso signifi ca
que

Em certas, e raras, situações, a posição de um

o carro move-se a 70 km/h , no sentido decrescente
das

móvel pode variar sempre no mesmo ritmo, isto é,
posições.

a taxa de variação da posição, em relação ao tempo,
é sempre a mesma. Nesse caso, denominamos o O
gráfi co da função horária da velocidade, no

movimento

movimento do móvel de movimento uniforme (MU).
uniforme, é uma reta horizontal, uma vez que o valor da

No movimento uniforme, a velocidade escalar instantânea é velocidade é constante, podendo estar acima ou abaixo

constante e não nula. Obviamente, nesse caso, a velocidade do eixo do tempo. A figura a seguir mostra o gráfico da

escalar instantânea iguala-se à velocidade escalar média, velocidade em função do tempo para dois movimentos.

isto é: No primeiro caso, o movimento é progressivo, v é positivo;

v s no segundo, o movimento é retrógrado, pois o valor da $v = v_m \Rightarrow$
 $= \Delta \Delta t$ velocidade é negativo.

6 Coleção Estudo

Introdução à Cinemática escalar e Movimento Uniforme

v constante v constante Observe que a imagem (1) mostra a escada muito

$v (v > 0) \vee (v < 0)$ inclinada, em relação à horizontal, enquanto que a

imagem (2) mostra a escada pouco inclinada. Podemos

utilizar os números mostrados nas imagens (1) e (2) para

definir a inclinação da escada, da seguinte maneira:

0 0

Inclinação 1 = distância vertical 2 5 , m

= = 2 5 ,

distância horizontal 1,0 0 m

Veja, na figura seguinte, o diagrama que relaciona a

velocidade v com o tempo t , para um automóvel que se distância vertical 1 5 , m Inclinação 2 = = = 0,75 move com velocidade constante de +60 km/h e que viaja distância horizontal 2 0 , m durante 2 horas.

velocidade (km/h) Para se encontrar a inclinação a de uma reta, utiliza-se o

seguinte
procedimento

60 Área = distância • Marcam-se dois pontos na reta;

• Determina-se a diferença entre os valores das

$d = vt$ ordenadas e entre os valores das abscissas

$$d = 60 \text{ km/h} \cdot 2 \text{ h} \text{ pontos}$$

$$(y - y_1 = y_2 \text{ e } x - x_1 = x_2) \Delta$$

$$x); \Delta d = 120 \text{ km}$$

- Calcula-se a razão entre Δy e Δx ;

0 tempo (h) Δy • Inclinação: $a = \frac{\Delta y}{\Delta x}$

Observe que a área marcada de amarelo é numericamente

A inclinação de uma reta é um conceito extremamente útil

igual à variação da posição (distância percorrida) do que poderá ser utilizado quando uma reta se fizer presente

automóvel no intervalo de tempo de 2 h, ou seja, 120 km.

curva do gráfico, para um determinado intervalo de tempo, Dessa forma, após apresentarmos o conceito de inclinação F_1 é numericamente igual à distância percorrida pelo móvel, de uma reta, podemos realizar a seguinte analogia, entre nesse intervalo de tempo. Lembre-se de que, como a área Em qualquer gráfico velocidade *versus* tempo, a área sob a nas representações gráficas. **SICA**

calculada está na região do gráfico cartesiano em que

a equação geral de uma reta ($y = b + ax$) e a equação

as ordenadas são positivas, temos que o carro percorreu da posição em função do tempo para um objeto em MU

120 km no sentido crescente das posições. ($s = s_0 + vt_0$):

GRÁFICO Posição Geral Para o MU VERSUS

TEMPO No MU Equações $y = b + ax$ $s = s_0 + vt_0$

Eixo das ordenadas y s

A função horária da posição no MU é uma função do 1.º grau ($y = ax + b$). Isso implica que a relação Eixo das abscissas x t

posição *versus* tempo será representada por uma reta. Ponto em que a reta “corta” b s_0 Uma importante característica dessa reta é a sua **inclinação** o eixo das ordenadas s_0 ou **declividade**, representada pela letra **a**. Veja as duas

imagens de uma escada que se encontra apoiada em uma Declividade ou inclinação a v

tela e cujas distâncias horizontais e verticais ao chão estão

indicadas nas imagens. Graficamente, a analogia está representada na figura



seguinte:

y s

$$a = \Delta y / \Delta x \quad v = \Delta s / \Delta t$$

2,5 m

1,5 m Δy Δs

Δx Δt

1,0 m b so 2,0 m

Editoria de Arte

(1) o o (2) x t

Editora Bernoulli 7

Frente A Módulo 01

Assim como o valor da inclinação **a** na equação $y = ax + b$ B) Para determinarmos a posição do encontro, basta

é constante, o valor da velocidade v no movimento uniforme substituímos o valor do instante de encontro, 2 h, na

também o Δt , e pode ser determinado pela inclinação da reta função horária de qualquer um dos dois automóveis:

no gráfico de posição *versus* tempo $v = \Delta s / \Delta t$. $s = 0 + 90t = 90(2) = 180 \text{ km}$ Paula

$$s_{\text{Tiago}} = 340 - 80t = 340 - 80(2) = 340 - 160 = 180 \text{ km}$$

OBSERVAÇÕES

Logo, os automóveis se encontram 2 h após a partida,

1. No movimento retilíneo uniforme, como o a 180 km da cidade de São José dos Campos (perto

movimento ocorre somente em um sentido, o valor

de
Resend
-
RJ).

da variação das posições será a distância percorrida

($\Delta s = d$). 2.º modo

2. Enquanto Δx e Δy podem assumir tanto valores

Como os dois automóveis apresentam velocidades positivos quanto valores negativos no gráfico de y constantes, os respectivos gráficos de posição *versus* em função de x , no gráfico posição *versus* tempo, tempo devem ser representados por retas; o carro de somente os valores de Δs podem ser negativos, Paula sai da origem das posições (km 0)

e percorre pois não há sentido físico para os valores de 90 km a cada hora, e o carro de Tiago sai do km 340 e Δt negativos (o tempo sempre flui para o futuro). retrocede 80 km a cada hora. Podemos representar as

posições nas quais cada carro se encontra, construindo

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

uma tabela, como
mostrado a seguir:

$$v_{\text{Paula}} = +90 \text{ km/h (sentido crescente das posições)}$$

01. $v_{\text{Tiago}} = -80 \text{ km/h}$ (sentido decrescente das posições) Tiago e Paula, estudantes de Engenharia – Tiago estudante

do IME (Rio de Janeiro - RJ) e Paula do ITA (São José dos

Campos - SP) – partem de carro, simultaneamente, **Tempo Posição**
Paula **Posição** Tiago

cada um da cidade onde estuda, para se encontrarem. 0 h km 0 km
340

As cidades em questão distam 340 km uma da outra.

Considere a velocidade do carro de Tiago constante e igual 1 h km
90 km 260

a 80 km/h e a velocidade do carro de Paula constante e

$$2 \text{ h km } 180 \text{ km } 180$$

igual a 90 km/h. Considere a posição 0 km (origem do

sistema de referência) em São José dos Campos. 3 h km 270 km 100

Determinar

$$4 \text{ h km } 360 \text{ km } 20$$

A) o intervalo de tempo gasto para que os dois

estudantes se encontrem;

Utilizando os dados dessa tabela, podemos representar

B) a posição da estrada em que os estudantes se

graficam
a
situação.

encontrarão.

Resolução: Gráfico posição versus tempo

340

1.º modo 300

A) As informações do texto podem ser representadas da 260

seguinte forma: 220

$$v = 90 \text{ km/h} \quad v = -80 \text{ km/h} \quad P \quad 180$$

Paula $t = 140$ Tiago posição (km)

Po
100

60

km 0 km 340 20

A partir da figura, temos: -20 0 1 2 3 4 5

Carro da Paula: s_0 Tempo (h) = 0 e v_P

$$= 90 \text{ km/h}$$

Carro do Tiago: s Carro da Paula = 340 km e $v = -80 \text{ km/h}$
 h_0 Carro do Tiago (veja o sentido crescente das posições na trajetória).

A função horária da posição de cada carro é $s = s_0 + v_t$, O gráfico em questão mostra que Paula e Tiago se

movimento uniforme; logo: encontram na posição 180 km, após 2 h de viagem.

$$s_{\text{Paula}} = 0 + 90t \text{ e } s_{\text{Tiago}} = 340 - 80t$$

No instante em que eles se encontrarem, suas

OBSERVAÇÃO

posições serão iguais; logo: Não importa o modo de resolução (analítico, tabela ou

$s = s \Rightarrow 0 + 90t = 340 - 80t \Rightarrow 170t = 340$ Paula Tiago gráfico), desde que a resolução seja coerente e que utilize

$\Rightarrow t = 2 \text{ h}$ (instante do encontro) os princípios físicos corretos.

8 Coleção Estudo

Introdução à Cinemática escalar e Movimento Uniforme

02. Um automóvel puxa um reboque em uma estrada,

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

se movendo com velocidade constante de 54 km/h. À sua

frente, encontra-se uma ponte de 50 m de extensão.

01. (CEFET-PR-2006) Imagine um ônibus escolar parado no

Quanto tempo gastará o conjunto (automóvel e reboque) ponto de ônibus e um aluno sentado em uma de suas

para ultrapassar completamente a ponte, sabendo que poltronas. Quando o ônibus entra em movimento, sua

os veículos apresentam 10 m de comprimento total? posição no espaço se modifica: ele se afasta do ponto

de ônibus. Dada essa situação, podemos afirmar que a

Resolução: conclusão **ERRADA** é que

Antes de resolvermos o exercício, convém transformarmos A) o aluno que está sentado na poltrona acompanha

o ônibus, portanto também se afasta do ponto de a unidade de velocidade, que se encontra em km/h,

ônibus

para m/s. Realizar tal transformação de unidades é

B) podemos dizer que um corpo está em movimento em simples, veja: relação a um referencial quando a sua posição muda

54 em relação a esse referencial. $54 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{54 \cdot 1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
s C) o aluno está parado em relação ao ônibus e em h 3 600 s s

movimento em relação ao ponto de ônibus.

Ou seja, $54 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Para não efetuar essa divisão

D) nesse exemplo, o referencial adotado é o ônibus. toda vez que encontrarmos uma transformação dessa

E) para dizer se um corpo está parado ou em movimento, natureza, podemos utilizar a seguinte relação: precisamos relacioná-lo a um ponto ou a um conjunto

de pontos de referência.

36 km 36 000 m 360 m

= =

h 3 600 s 36 s **02.** (Mackenzie-SP) Um automóvel deslocou-se durante 1 h

⇒ com velocidade constante de 60 km/h e, a seguir, por 10 m/s =

36 km/h

mais meia hora, com velocidade constante de 42 km/h.

Isto é: $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$ (use essa relação, juntamente A
velocidade escalar média do automóvel nesse intervalo **SICA**

com uma regra de três, para realizar transformações de de 1 h 30
min foi de **Fí**

km/h para m/s ou vice-versa). A) 40 m/s. D) 20 m/s.

B) 30 m/s. E) 15 m/s.

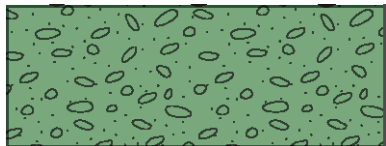
Observe a figura seguinte, que representa os instantes

C)
25
m/
s.

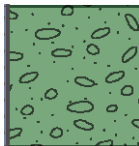
em que o veículo inicia e termina a passagem sobre

uma ponte. **03.** (FGV-SP-2007) Em uma passagem de nível, a
cancela é

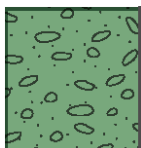
fechada automaticamente quando o trem está a 100 m
do início do cruzamento. O trem, de comprimento 200 m,
move-se com velocidade constante de 36 km/h. Assim



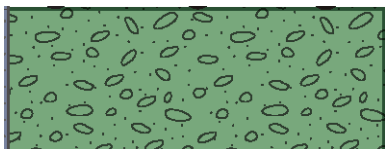
que o último vagão passa pelo final do cruzamento,



a cancela se abre, liberando o tráfego de veículos.



Como podemos observar na figura anterior, a travessia



inicia-se quando a parte frontal do veículo entra na ponte e termina quando o final do reboque sai da ponte,

Considerando que a rua tem largura de 20 m, o tempo isto é, quando a distância total percorrida for igual a

que o trânsito fica contido desde o início do fechamento $50 \text{ m} + 10 \text{ m} = 60 \text{ m}$ (comprimento da ponte mais o

da cancela até o início de sua abertura, é, em s, comprimento do veículo). Desse modo:

A) 32. D) 54.

$d = vt \Rightarrow t = d/v = 60 \text{ m}/15 \text{ m/s}$ B) 36. E) 60.

$\Rightarrow t = 4 \text{ s}$ C) 44.

Frente A Módulo 01

04. (FUVEST-SP) João está parado em um posto de gasolina A) Júlia Tomás

quando vê o carro de seu amigo passando por um ponto P, na estrada, a 60 km/h. Pretendendo alcançá-lo, João parte com seu carro e passa pelo mesmo ponto P, depois de 4 minutos, já a 80 km/h. Considere que ambos dirigem com velocidades constantes. Medindo o tempo, Júlia B) Tomás

a partir de sua passagem pelo ponto P, João deverá alcançar seu amigo, aproximadamente, em

- A) 4 minutos.
- B) 10 minutos.
- C) 12 minutos. C) Júlia Tomás
- D) 15 minutos.
- E) 20 minutos.

05. (Mackenzie-SP) Correndo com uma bicicleta, ao longo de

um trecho retilíneo de uma ciclovia, uma criança mantém D) Júlia Tomás

a velocidade constante de módulo igual a 2,50 m/s.

O diagrama horário da posição para esse movimento está ilustrado na figura.

x (m)

02. (PUC Minas) Durante uma tempestade, uma pessoa viu um relâmpago e, após 3 segundos, escutou o barulho do trovão. Sendo a velocidade do som igual a 340,0 m/s, a que distância a pessoa estava do local onde caiu o

relâmpago

25,00 m A) 113,0 m

B)
1
130
m

C)
1
020
m

0 30,00 m (s) D) 102 m

Segundo o referencial adotado, no instante $t = 15,00$ s, **03.** (FUVEST-SP-2010) Astrônomos observaram que a

a posição x da criança é igual a nossa galáxia, a Via Láctea, está a $2,5 \times 10^6$ anos-luz

A) $-37,50$ m. de Andrômeda, a galáxia mais próxima da nossa. Com
B) $-12,50$ m. base nessa informação, estudantes em uma sala de aula

afirmaram
o
seguinte:

C) 12,50 m.

I. A distância entre a Via Láctea e Andrômeda é de

D) 37,50 m.

2,5
milhões
de
km.

E) 62,50 m.

II. A distância entre a Via Láctea e Andrômeda é maior

que
2
 $\times$
 10^{19}
km.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS III. A luz proveniente de Andrômeda leva 2,5 milhões de anos para chegar à Via Láctea.

01. ⁷ (UFMG) Júlia está andando de bicicleta, com velocidade **observação:** 1 ano tem aproximadamente 3×10 s.

constante, quando deixa cair uma moeda. Tomás está Está **Correto** apenas o que se afirma em

parado na rua e vê a moeda cair. A) I.

Considere desprezível a resistência do ar. B) II.

Assinale a alternativa em que **MELHOR** estão C) III.

representadas as trajetórias da moeda, como observadas D) I e III.

por Júlia e por Tomás. E) II e III.

10 Coleção Estudo

Introdução à Cinemática escalar e

Movimento Uniforme

04. (UFSCar-SP) Três amigos, Antônio, Bernardo e Carlos, **06.** (FUVEST-SP-2006) Um automóvel e um ônibus trafegam

saíram de suas casas para se encontrarem numa em uma estrada plana, mantendo velocidades constantes

lanchonete. Antônio realizou metade do percurso com em torno de 100 km/h e 75 km/h, respectivamente.

velocidade média de 4 km/h e a outra metade com Os dois veículos passam lado a lado em um posto de

velocidade média de 6 km/h. Bernardo percorreu o trajeto pedágio. Quarenta minutos ($\frac{2}{3}$ de hora) depois, nessa

com velocidade média de 4 km/h durante a metade do mesma estrada, o motorista do ônibus vê o automóvel

tempo que levou para chegar à lanchonete e a outra ultrapassá-lo. Ele supõe, então, que o automóvel deve

metade do tempo fez com velocidade média de 6 km/h. ter realizado, nesse período, uma parada com duração

Carlos fez todo o percurso com velocidade média de aproximada de 5 km/h. Sabendo que os três saíram no mesmo instante

A)
4
minutos.

de suas casas e percorreram exatamente as mesmas distâncias, pode-se concluir que B) 7 minutos.

C)
10
minutos.

A) Bernardo chegou primeiro, Carlos, em segundo e

Antônio, em terceiro. D) 15 minutos.

B) Carlos chegou primeiro, Antônio, em segundo e E) 25 minutos.

Bernardo, em terceiro. 07. (CEFET-MG-2006) As figuras a seguir representam as

C) Antônio chegou primeiro, Bernardo, em segundo e posições sucessivas, em intervalos de tempo iguais e

Carlos, em terceiro. fixos, dos objetos I, II, III e IV em movimento.

D) Bernardo e Carlos chegaram juntos e Antônio chegou em terceiro.

E) os três chegaram juntos à lanchonete. Sentido do

05. (FUVEST-SP-2007) Um passageiro, viajando de **SICA** movimento

metrô, fez o registro de tempo entre duas estações e **Fí**

obteve os valores indicados na tabela. Supondo que a

velocidade média entre duas estações consecutivas seja I II III IV

sempre a mesma e que o trem pare o mesmo tempo

O objeto que descreveu um movimento retilíneo em qualquer estação da linha, de 15 km de extensão,

uniforme
foi

é possível estimar que um trem, desde a partida da

Estação Bosque até a chegada à Estação Terminal, leva, A) I.

aproximadamente, B) II.

C)
III.

Chegada Partida

D)
IV.

Vila Maria 0:00 min 1:00 min

Felicidade 08. (UFTM-MG–2006) Na entrada do porto, todos os navios 5:00 min 6:00 min

devem cruzar um estreito canal de 300 m de extensão.

Como medida de segurança, essa travessia deve ser

São José Terminal realizada com velocidade máxima de 6 m/s.

Um navio

Central 2 km de 120 m de comprimento, movendo-se com a máxima

Arcoverde Felicidade velocidade permitida, ao realizar a travessia completa

Bosque desse canal, demorará um tempo, em s, de Vila Maria

A)
20.

A) 20 min.

B)
30.

B) 25 min.

C)
40.

C) 30 min.

D) 35 min. D) 60.

E) 40 min. E) 70.

Frente A Módulo 01

09. (UFRGS-RS) Um automóvel que trafega em uma **12.** (UFV-MG) O tempo necessário para um motorista, em

autoestrada reta e horizontal, com velocidade constante, um carro a 40 m/s, ultrapassar um trem de carga (no

está sendo observado de um helicóptero. Relativamente mesmo sentido do carro), de 0,18 km de comprimento,

ao solo, o helicóptero voa com velocidade constante de a 10 m/s, será, em segundos,

100 km/h, na mesma direção e no mesmo sentido do A) 5,4. D) 3,6 $\times 10^{-3}$.

movimento do automóvel. Para o observador situado B) $6,0 \times 10^{-3}$. E) 6,0.

no helicóptero, o automóvel avança a 20 km/h. Qual é, C) 3,6.

então, a velocidade do automóvel relativamente ao solo?

A) 120 km/h **13.** (UFCE) Dois trens partem, em horários diferentes, de

B) 100 km/h duas cidades situadas nas extremidades de uma ferrovia,

deslocando-se em sentidos contrários. O trem azul parte

C) 80 km/h

da cidade A com destino à cidade B, e o trem prata,

D) 60 km/h da cidade B com destino à cidade A. O gráfico representa

E) 20 km/h as posições dos dois trens em função do horário, tendo

como origem a cidade A ($x = 0$).

10. (FUVEST-SP-2009) Marta e Pedro combinaram

encontrar-se em um certo ponto de uma autoestrada Trem prata plana, para seguirem viagem juntos. Marta, ao passar x (km)

720

pelo marco zero da estrada, constatou que, mantendo

uma velocidade média de 80 km/h, chegaria na hora

certa ao ponto de encontro combinado. No entanto, Trem azul

quando ela já estava no marco do quilômetro 10, ficou

sabendo que Pedro tinha se atrasado e, só então, estava

passando pelo marco zero, pretendendo continuar sua t (h)

viagem a uma velocidade média de 100 km/h. Mantendo 0 2 4 6 8

10 12 14 16 18

essas velocidades, seria previsível que os dois amigos

Considerando a situação descrita e as informações do

se encontrassem próximos a um marco da estrada com

indicação de gráfico, assinale a alternativa **INCoRRETA**.

A) B) C) D) E) km km km km km 420 km. A) Os dois trens se encontram às 11 horas, na posição

20 30 40 50 60

B) O trem azul partiu às 4 horas da cidade A.

11. (UFMG) Este gráfico mostra como varia a posição em C) O trem azul move-se com maior rapidez que o trem

função do tempo para um carro que se desloca em linha prta, pois chegou primeiro ao seu destino.

reta. No tempo $t = 60$ s, a velocidade do carro é D) A velocidade média do trem azul é de 60 km/h.

700 14. (Covest) O gráfico a seguir representa a posição de uma

600

) 500 partícula em função do tempo. Qual a velocidade média

400 da partícula, em m/s, entre os instantes $t = 2,0$ min e

300 $t = 6,0$ min?

posição (m x (m) 200

100 $8,0 \times 10^2$

0

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 $6,0 \times 10^2$

tempo (s) 2×10^3

A) $5,0$ m/s. 2×10^3

B) $7,0$ m/s.

C) 10 m/s. 0 1,5 3,0 4,5 6,0 t (min)

D) 12 m/s.

A) 1,7 C) 3,3

E) 15 m/s.

B) 2,5 D) 4,4

Introdução à Cinemática escalar e Movimento Uniforme

15. Os sensores S e S e a câmera estão ligados a um (UFMG–2010)
Ângela e Tânia iniciam, juntas, um passeio ^{1 2}

de bicicleta em torno de uma lagoa. Neste gráfico, está computador.
Os sensores enviam um sinal ao computador

registrada a distância que cada uma delas percorre, em sempre que
são pressionados pelas rodas de um veículo.

função do tempo: Se a velocidade do veículo está acima da
permitida,

o computador envia um sinal para que a câmera fotografe

sua placa traseira no momento em que esta estiver

20 sobre a linha tracejada. Para certo veículo, os sinais dos

sensores foram os seguintes:

Tânia

15

distância (km)

S_1 t (s)

10

Ângela

5 S_2 t (s) 0 0,1 0,2 0,3

A) **DETERMINE** a velocidade do veículo em km/h.

0 B) **CALCULE** a distância entre os eixos do veículo. 0 10 20 30 40 50

(distância entre as rodas dianteira e traseira)

tempo (minutos)

Após 30 minutos do início do percurso, Tânia avisa **17.** (UFPE) A figura mostra um gráfico da velocidade em função

a Ângela, por telefone, que acaba de passar pela do tempo para um veículo que realiza um movimento

composto de movimentos retilíneos uniformes. Sabendo-se

igreja.

que em $t = 0$ a posição do veículo é $x = +50$ km, o

Com base nessas informações, são feitas duas **CALCULE** a posição do veículo no instante $t = 4,0$ h,

observações: em km. **SICA**

I. Ângela passa pela igreja 10 minutos após o telefonema v (km/h)

F1

de Tânia. 20

15

II. Quando Ângela passa pela igreja, Tânia está 4 km à 10

sua frente.

Considerando-se a situação descrita, é **CoRRRETo** 1,0 0 2,0 3,0 4,0 5,0
t (h)

afirmar que -10

-
15

A) apenas a observação I está certa.

-

B) apenas a observação II está certa.

C) ambas as observações estão certas. **18.** (UFRJ) Dois trens, um de carga e outro de passageiros,

movem-se nos mesmos trilhos retilíneos, em

D) nenhuma das duas observações está certa.

sentidos opostos, um aproximando-se do outro,

ambos com movimentos uniformes. O trem de carga,

16. (Unicamp-SP) A figura a seguir mostra o esquema de 50 m de comprimento, tem uma velocidade de módulo

simplicado de um dispositivo colocado em uma rua igual a 10 m/s e o de passageiros, uma velocidade de

para controle de velocidade de automóveis (dispositivo módulo igual a v). O trem de carga deve entrar num desvio

popularmente chamado de radar). para que o de passageiros possa prosseguir viagem nos

mesmos trilhos, como ilustra a figura a seguir. No instante

computador câmera focalizado, as distâncias das dianteiras dos trens ao desvio

valem 200 m e 400 m, respectivamente.

S S 12 Desvio

Trem de passageiros Trem de carga

v 10 m/s

400 m 200 m 50 m

$d = 2$ m **CALCULE** o valor máximo de v para que não haja colisão.

Frente A Módulo 01

SEção ENEM

GABARITO

01. (Enem) As cidades de Quito e Cingapura encontram-se

próximas à Linha do Equador e em pontos diametralmente

Fixação

opostos no globo terrestre. Considerando o raio da

Terra igual a 6 370 km, pode-se afirmar que um

01.
D

avião saindo de Quito, voando em média 800 km/h,

descontando as paradas de escala, chega a Cingapura 02. E

em aproximadamente

A) 16 horas. 03. A C) 25 horas. E) 36 horas.

B) 20 horas. D) 32 horas. 04. C

02. (Enem) Um sistema de radar é programado para registrar 05. E

automaticamente a velocidade de todos os veículos que

trafegam por uma avenida, onde passam, em média, 300

Propostos

veículos por hora, sendo 55 km/h a máxima velocidade permitida. Um levantamento estatístico dos registros do radar permitiu a elaboração da distribuição percentual de 01. C
veículos de acordo com a sua velocidade aproximada. 02. C
) 45 40 40 03. E

ículos (%) 35 30 30 04. D 25 20 15 05. D 15

Ve 10 5 6 3 1 5 06. C 0

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 07. C

Velocidade (km/h)

08.
E

A velocidade média dos veículos que trafegam nessa avenida é de 09. A

A) 35 km/h. C) 55 km/h. E) 85 km/h.

10.
D

B) 44 km/h. D) 76 km/h.

11.
C

03. (Enem) O tempo que um ônibus gasta para ir do ponto

inicial ao ponto final de uma linha varia, durante o dia, 12. E
conforme as condições do trânsito, demorando mais nos

horários de maior movimento. A empresa que opera essa 13. C

linha forneceu, no gráfico a seguir, o tempo médio de

14.
B

duração da viagem conforme o horário de saída do ponto inicial, no período da manhã. 15. C

) 120

110 16. A) 72 km/h

100

90

80 B) 3 m

70

60

50 17. 25 km 40

30

20 18. 16 m/s

Tempo do percurso (minutos 10

0

6:00 6:10 6:20 6:30 6:40 6:50 7:00 7:10 7:20 7:30 7:40 7:50 8:00 8:10 8:20 8:30 8:40 8:50
9:00 9:10 9:20 9:30 9:40 9:50 10:00 10:10 10:20 10:30 10:40 10:50 11:00

Seção Enem

Horário de saída

De acordo com as informações do gráfico, um passageiro que necessita chegar até as 10h30min ao ponto final 01. C dessa linha, deve tomar o ônibus no ponto inicial, no máximo, até as 02. B

A) 9h20min. C) 9h00min. E) 8h50min.

B) 9h30min. D) 8h30min.

14 Coleção Estudo Física MÓDULO FRENTE

Movimento Uniformemente 02 A

Variado e Movimento Vertical

No módulo anterior, discutimos o conceito de velocidade. Ao contrário, quando uma composição do metrô inicia

escalar, isto é, discutimos o ritmo no qual a posição de um movimento retilíneo, partindo do repouso e atingindo

um móvel varia (taxa de variação da posição em relação a uma velocidade padrão, como 60 km/h, o veículo

ao tempo). Esse conceito nos permitiu descrever as experiências de uma aceleração de arrancada. Depois que a

características do movimento uniforme. Contudo, quando a composição passa a se mover com velocidade constante,

são os movimentos nos quais o módulo da velocidade e a sua aceleração torna-se nula. Naturalmente, uma

permanece constante. Ao andar de carro, bicicleta ou ônibus, a aceleração voltará a existir quando a

composição iniciar o

percebemos isso claramente. O módulo da velocidade varia procedimento de parada na próxima estação. Nesse caso,

muito, ora aumentando de valor, ora diminuindo. O gráfico de a aceleração é denominada de desaceleração, uma vez que

velocidade *versus* tempo a seguir registra essas variações de ela é decorrente de uma redução do módulo da velocidade

velocidade em um ônibus de viagem. Esse registro é feito por ao longo do tempo.

um aparelho denominado tacógrafo, de uso obrigatório em

Os exemplos de acelerações citados anteriormente ônibus e em caminhões. Observe que o valor da velocidade

são relativos a variações no valor numérico (módulo) da
fica constante por curtíssimos intervalos de tempo.

velocidade. Nesse caso, a aceleração é denominada de

GRÁFICO: velocidade x tempo **aceleração tangencial.**

v (km/h)

100 Definição matemática da

aceleração

90

80

Neste módulo, trataremos apenas da variação do valor

60

(módulo) da velocidade em relação ao tempo. O
conceito

40 de **aceleração** tratado aqui está associado à
variação no

20 módulo da velocidade, que pode aumentar ou
diminuir.

0 Imagine um avião comercial partindo do repouso e
atingindo

05:00 06:00 07:00 08:00 t (h) a velocidade necessária para
decolagem, de 200 km/h

Registro de velocidade de um ônibus utilizando o tacógrafo. em 40
segundos. Isso significa que, em média, a cada

1 segundo de movimento, a velocidade do avião
aumenta de

No presente módulo, estudaremos a grandeza que 5
km/h; ao final de 10 s, sua velocidade será de 50
km/h e,

mede a variação da velocidade em relação ao tempo,
ao atingir o final da pista de decolagem, 40 s após o
início

a **aceleração**. Inicialmente, estudaremos seu conceito, sua

do movimento, o avião terá a velocidade necessária para

definição matemática e suas unidades; depois, passaremos

decolar, de 200 km/h. O valor da mudança de velocidade

aos movimentos que apresentam variação uniforme

em relação ao tempo – **aceleração escalar média** – é de

de velocidade (MUV) e finalizaremos o módulo com os

5 km/h a cada segundo, ou seja, em média, a cada segundo

movimentos de queda livre vertical.

que passa, o avião aumenta sua velocidade em 5 km/h.

o CONCEITO DE ACELERAÇÃO

Matematicamente, podemos representar essa ideia por:



velocidade constante de 700 km/h em relação ao solo, não Um avião a jato movendo-se retilineamente, com uma $v = v \Delta v$ Aceleração escalar média (a): $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$ possui nenhuma aceleração. Um corpo possui aceleração



apenas quando o seu vetor velocidade varia no tempo. Dessa v_1, v_2 forma, apesar da enorme rapidez com a qual o avião se desloca,



este não está acelerado, ou seja, não possui aceleração,

pois sua velocidade não varia em relação ao tempo, nem

numericamente nem em direção (a trajetória é retilínea). t_1, t_2

Editora Bernoulli 15

Frente A Módulo 02

No exemplo apresentado, o valor da aceleração seria

de TABELA: Variação da velocidade de 2 veículos

5 km/h por segundo ou km/h s . O Sistema

Internacional Velocidade Instante do carro I do
carro II de Unidades (SI) não utiliza a unidade anterior,
e sim o

m/s 0 s 15 m/s $15 \text{ m/s} = \text{m/s}^2$ (lê-se metro por
segundo ao quadrado). s 1 s 17 m/s 17 m/s

Dizer que o valor da aceleração de um avião ao
arrancar 2 s 18 m/s 19 m/s

é de 5 m/s^2 significa que, a cada segundo que passa, 3
 s 22 m/s 21 m/s a velocidade do avião aumenta em 5 m/
 s .

4 s 25 m/s 23 m/s

Quando o valor do intervalo de tempo Δt for muito
pequeno

(Δt se aproxima de zero), o cálculo do valor da
aceleração O primeiro automóvel aumentou o módulo
de sua

escalar média nós dá o valor da **aceleração escalar**
velocidade, e, portanto, dizemos que o seu movimento
é

instantânea, definida por: um movimento acelerado.
O segundo automóvel também

aumentou o valor de sua velocidade, logo esse
também



possui um movimento acelerado. Porém, o aumento da



Aceleração escalar instantânea (a):



a $v_2 - v_1$ Δv = velocidade do segundo veículo ocorreu sempre no mesmo Δt , quando tende a zero. Δt ritmo, ou seja, o valor de sua velocidade aumentou de forma

$t_2 - t_1$ Δ regular. Seu movimento é, então, denominado movimento

uniformemente variado (**MUV**). A cada segundo que passa,

A relação matemática anterior mostra que se o valor da o valor da velocidade do carro II aumenta em 2 m/s. Logo,

velocidade aumenta, isto é, $v_2 > v_1$, então a variação

da o segundo automóvel apresenta uma aceleração constante a_{21}

velocidade é positiva e a aceleração também é positiva; caso de 2 m/s². A constância da aceleração (que, no entanto,

contrário, se o valor da velocidade diminui, isto é, v não pode ser nula) caracteriza o MUV. $a_{21} < 0$

então a variação da velocidade é negativa e a aceleração Os movimentos uniformemente variados têm uma enorme

também é negativa. No movimento uniforme, no qual o valor importância histórica, uma vez que Galileu “inaugura” a

da velocidade não se altera, a aceleração escalar é nula Ciência Moderna com o estudo de questões relativas ao

($v = v_0$, $a = 0$). A ideia de que a aceleração é $a_{21} \Rightarrow \Delta v = 0 \Rightarrow$ movimento, entre elas o estudo do movimento dos corpos positiva em um movimento acelerado, e negativa em um sob a ação da gravidade. O tipo de movimento que ele

movimento retardado, é correta apenas quando a velocidade encontra para o deslocamento dos corpos sob ação da

é positiva. Quando o móvel apresenta uma velocidade gravidade é o MUV.

negativa, essa regra é invertida, ou seja, $a < 0$ no movimento Como em um MUV o valor da aceleração é

constante,

acelerado e $a > 0$ no movimento retardado. Em outras palavras, no movimento acelerado, aceleração e velocidade $\Delta v = v_2 - v_1$ apresentam sinais idênticos, enquanto, no movimento retardado, os sinais são opostos. A seguir, apresentamos

um quadro resumindo essas convenções de sinais. $v_2 - v_1 = a(t_2 - t_1) \Rightarrow v_2 = v_1 + a(t_2 - t_1)$

Comportamento Sinal da Sinal da Assumindo que $t = 0$, temos que $v = v_1 + at$, ou

do módulo da velocidade aceleração

simplesmente

+ +



Crescente $-v = v_1 + at$ (função horária da velocidade) -



+ -

Decrescente Nessa função

- + $v =$ velocidade final no instante t

$v_0 =$
velocidade
inicial

MOVIMENTO UNIFORMEMENTE $a =$
aceleração $t =$ instante final

VARIADO (MUV) Esse resultado pode ser corroborado facilmente pelos dados apresentados na tabela anterior, para o carro II. Nela, temos:

Uma classe especial de movimentos é aquela cujo valor da $v_0 = 15 \text{ m/s}$ (velocidade no instante inicial)

velocidade varia sempre no mesmo ritmo, isto é, apresenta $a = 2 \text{ m/s}^2$

variações iguais em intervalos de tempo iguais. Veja a Dessa maneira, a equação horária da velocidade para o

tabela seguinte, que apresenta as variações das velocidades carro II é $v = v_0 + at \Rightarrow v = 15 + 2t$ (v em m/s , a em instantâneas de dois carros. m/s^2 e t em s).

Movimento Uniformemente Variado e Movimento Vertical

Uma vez obtida a equação horária para a velocidade, 3. Um aluno de Galileu, Evangelista Torricelli,

podemos calcular o valor dessa em qualquer instante desenvolveu uma equação para o MUV que independe

desejado, desde que o valor da aceleração permaneça do tempo. Essa relação, denominada Equação de

constante. Substitua, mentalmente, o valor de $t = 3 \text{ s}$ na Torricelli, foi desenvolvida tendo como base as duas

equação horária do carro II, e você obterá um valor igual a equações anteriormente apresentadas. 21 m/s , como mostra a tabela.

do 1.º grau. Podemos facilmente estabelecer uma analogia $\Rightarrow$ Observe que a função horária da velocidade é uma função $v = v_0 + at$ e $v^2 = v_0^2 + 2a_0\Delta s$ entre a função horária da velocidade e a equação geral da $\Delta s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ (Equação de Torricelli) o

reta, como mostrado a seguir:

4. Imagine um carro que se move com velocidade

$v = v_0 + at$ constante. Em um determinado momento, o motorista

pisa no freio, reduzindo a velocidade sempre no

$y = b + ax$ mesmo ritmo e, assim que o carro para, engata

rapidamente a marcha-à-ré e passa a mover-se para
v v trás, aumentando o módulo da velocidade
sempre no (aceleração positiva) (aceleração negativa)

mesmo ritmo. Podemos sintetizar essas informações

v_0 por meio de um gráfico, em que as mesmas
 Δv informações estarão presentes. Veja a imagem a
 Δv seguir.

$v \Delta t$ $t \Delta$

0

OBSERVAÇÕES 0 t O carro se t O módulo da move com 0 velocidade
velocidade diminui, e o constante V carro continua no sentido a se mover
crescente no sentido das posições crescente das 1. O valor da
inclinação da reta do gráfi co v x t nos $v = 0$ (nesse
momento, posições o motorista inverte o mostra o ritmo de
mudança no valor da velocidade, sentido do movimento)

FÍSICA isto é, a inclinação da reta no gráfi co v x t
nos fornece

o valor da aceleração. Desse modo, a inclinação
é numericamente igual ao valor da aceleração t
apresentada pelo móvel. 0 O módulo da velocidade

aumenta, e o carro passa

2. a se mover no sentido No módulo anterior, vimos que a
área sob a reta

do gráfico x vs t representa a variação da posição

(distância percorrida) do móvel em um determinado

intervalo de tempo. O mesmo ocorre para o

MUV. **GRÁFICO POSIÇÃO VERSUS TEMPO**

v

v **v** ₁₁ A função horária da posição, para o MUV, é uma
função Área = variação

v da posição do segundo grau, uma vez que: **v** ₀
₀

$$\Delta s = v_0 t + \frac{a t^2}{2} \text{ ou } s - s_0 = v_0 t + \frac{a t^2}{2}$$

2 2

$$s(t_1) - s(t_0) = v_0 (t_1 - t_0) + \frac{a}{2} (t_1^2 - t_0^2)$$

o 2

Podemos determinar a área sob a reta do gráfico

calculando a área do trapézio, cujos vértices
(equação do 2.º grau em função do tempo)

apresentam valores numéricos iguais a v_0 , v , t
e t_0 . Dessa forma, a posição de um móvel,
em MUV, é descrita. Ao calcular essa área,
substituindo v por $v_0 + \frac{a}{2} t$, Δs por uma curva
denominada parábola, em um gráfico de
encontramos a função:

Δs a t^2 posição *versus*
tempo. A seguir,
apresentamos um gráfico

co da () Δs v t posição
 em função do tempo
 para um móvel em
 movimento = $\Delta + 0^2$
 uniformemente
 retardado, que passou
 pela posição $s = 0$

Fazendo $t = 0$ e $t = t_1$, temos: s_1 no instante $t = 0$.

Também representamos alguns instantes

após o móvel ter atingido o repouso. Naturalmente,
 nesse



Δ at₂ intervalo, a posição é constante, e o
 gráfi co é uma reta s v t (função horária da
 posição) = $s_0 + 2$ paralela ao eixo do tempo.





Frente A Módulo 02

$$\Delta s_1 = v_1 \Delta t_1$$

$$\Delta s_2$$

$$\Delta s_1$$

$$t_0 \quad t_1 \quad t_2 \quad t_3 \quad t_4$$

Por esse motivo, no gráfico posição *versus* tempo, o valor

da velocidade pode ser determinado por meio da inclinação

Observe que marcamos três intervalos de tempo iguais

em diferentes trechos do gráfico. Observe que, para um (v da reta tangente à curva em um determinado instante, mesmo intervalo de tempo, o valor da variação da posição $v_1 > v > v_2$).

apresentada em cada trecho é diferente:

MOVIMENTOS VERTICAIS NA

$$\Delta s_1 > \Delta s_2 > \Delta s_3 = 0$$

Isso nos mostra que a velocidade média do móvel nos

SUPERFÍCIE DA TERRA trechos 1, 2 e 3 são diferentes:

$v_1 > v_2 > v_3 = 0$ Os movimentos na superfície da Terra foram estudados por

muitos motivos, porém um se destacou: o objetivo militar.

Logo, podemos inferir que o valor da velocidade do móvel Com o desenvolvimento dos canhões, passou a ser uma

está diminuindo. Outro modo de obter essa conclusão é por necessidade conhecer o movimento dos projéteis lançados

meio das retas secantes nos pontos da curva analisados. A sobre a superfície da Terra, para, com isso, conseguir-se

figura a seguir representa essas retas secantes nos intervalos uma vantagem sobre o adversário, em caso de conflitos.

de tempo considerados. É fácil perceber que quanto menor A partir do estudo do movimento dos corpos

sobre a

a inclinação da reta secante, menor o valor da velocidade superfície da Terra, pudemos compreender melhor a força

média no respectivo trecho. gravitacional, que é uma força fundamental da natureza.

A força gravitacional é uma força de atração mútua
que se

s v manifesta entre corpos que possuem massa. Sendo a Terra m_3 um corpo massivo, essa exerce uma força de atração sobre v_{m2} os objetos que estão sobre sua superfície.

Preocupar-nos-emos agora apenas com os movimentos verticais na superfície da Terra, e mesmo assim com
uma

v classe muito especial: aquela na qual os efeitos da resistência m_1 do ar podem ser negligenciados, ou seja, estudaremos o

movimento dos corpos que estão em **queda livre**. A
imagem

seguinte mostra uma pena e uma maçã liberadas em
uma

região com pouquíssima quantidade de ar (vácuo parcial).

Quando os efeitos da resistência do ar são muito pequenos,

os objetos abandonados no mesmo instante, e de uma mesma

altura, caem simultaneamente. Isso ocorre quando soltamos

esferas de metal de diâmetros diferentes de pequenas alturas



(por exemplo, 2 m). Apesar de haver resistência do ar, seus



efeitos são muito pequenos para curtas distâncias. O mesmo



não ocorre, por exemplo, para um paraquedista, para o qual



PARA REFLETIR



os efeitos da resistência do ar são, no mínimo, vitais.



Se trabalhássemos com um intervalo de tempo



muito pequeno ($\Delta t \rightarrow 0$), em quê se transformaria a reta secante?



Ao reduzirmos muito o valor de Δt , este tende para o valor

zero, isto é, estamos transformando um intervalo de tempo

em um instante. Dessa maneira, a reta secante mostrada

na figura anterior se transforma em uma reta tangente,

e o que antes representava a velocidade média do móvel no

trecho, agora representa a velocidade instantânea em certa

posição. A figura seguinte mostra a transformação descrita.

18 Coleção Estudo

Movimento Uniformemente Variado e Movimento Vertical

As sucessivas imagens da maçã e da pena, na

fotografia **EXERCÍCIO RESOLVIDO**

anterior, foram realizadas em intervalos de tempo iguais. Ao

analisar a imagem (realizando medidas, o que não faremos), **01.** Da janela de seu apartamento, Elaine joga uma bola

é possível inferir que verticalmente para cima ($v = 5 \text{ m/s}$),

como mostrado o

na figura. Despreze a resistência do ar e faça o que

1. o movimento de queda é uniformemente acelerado,

se
pede.

e a aceleração, devido à gravidade (g), na superfície

da Terra, é aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$, muitas vezes

arredondada para 10 m/s^2 .

2. se, ao cair, o movimento é uniformemente acelerado,

ao subir (sem resistência do ar), o movimento é uniformemente retardado, sendo o módulo da aceleração também igual a $9,8 \text{ m/s}^2$.

3. é muito comum adotarmos um eixo, com o sentido

positivo voltado para cima, para definirmos as grandezas cinemáticas de um corpo, a fim de estudarmos os movimentos verticais. Isso implica

que a velocidade de um corpo que cai apresenta sinal

negativo ($-v$), bem como o valor da aceleração devido

A) Esboçar o gráfico de velocidade *versus* tempo para

à gravidade ($g = -9,8 \text{ m/s}^2$ o movimento da bola, do instante em que a bola sai), conforme ilustra a figura

seguinte. Mas isso é uma convenção, e você pode da mão de Elaine até o instante em que ela retorna

à
sua
mão.

alterá-la no momento que desejar.

B) Esboçar o gráfico de posição *versus* tempo para o

Queda Subida

Corpo acelerado mão de Elaine até o instante em que ela retorna à movimento da bola, do instante em que ela sai da

SICA

Corpo desacelerado Fí

+ sua mão.

C) Esboçar o gráfico de aceleração *versus* tempo para

$g < 0$ $g < 0$ o movimento da bola, do instante em que a bola sai da mão de Elaine até o instante em que ela retorna

à
sua
mão.

$v < 0$ $v > 0$

D) Calcular a distância percorrida pela bola enquanto

esta esteve no ar.

- E) Qual o intervalo de tempo em que a bola fica no ar?

Resolução

FUNÇÕES DO MOVIMENTO A) Como a bola é jogada para cima, sua velocidade inicial

é positiva, considerando que o sentido positivo do eixo

VERTICAL vertical é para cima. Logo, as grandezas direcionadas

na vertical com sentido para baixo serão consideradas negativas. Sendo o movimento de subida e descida da

O movimento vertical livre é um movimento uniformemente variado, temos

variado (acelerado ou retardado) e, portanto, as funções que o gráfico de velocidade *versus* tempo desse

o representam são as funções estudadas para o MUV. Alguns movimento é representado por uma reta inclinada.

textos de Física fazem uma pequena adaptação, substituindo O valor da velocidade inicial da bola é de $5,0 \text{ m/s}^2$, e,

a por g e Δs por h : no ponto mais alto de sua trajetória, a velocidade é

nula, momentaneamente. Após esse instante, a bola

$v = v + at_0 \Rightarrow v = v + gt_0$ começa a cair e sua velocidade aumenta, em módulo,

Δat_2 mas possui sinal negativo, pois a bola move-se no sentido oposto ao convencionado como positivo, até retornar à mão de Elaine com velocidade de mesmo

módulo com que foi lançada (essa é uma informação importante e deve ser memorizada).

Editora Bernoulli 19

Frente A Módulo 02

Sendo assim, o gráfico de velocidade *versus* tempo D) Utilizando a relação $v = v_0 + 2as_0$ para esse movimento é mostrado na figura a seguir: $+ \Delta$, durante o

movimento de subida ($v_0 = 5 \text{ m/s}$ e $v_{\text{final}} = 0 \text{ m/s}$),

e atentando para os sinais a serem utilizados para

$+5 \text{ m/s}$ v_0 e g , temos:

O objeto está subindo.

$v = 0$ (Neste momento, a bola atinge o ponto mais alto da trajetória.)
 $\Rightarrow 0 = 5 + (-2) \Delta s \Rightarrow \Delta s = 1,25 \text{ m}$

$t_0 = 25 - 20\Delta s \Rightarrow \Delta s = 1,25 \text{ m}$ (subiu 1,25 m)

Se a bola subiu 1,25 m, ela deverá descer 1,25 m.

O objeto está descendo. Logo, a distância percorrida pela bola foi de 2,5 m.

-5 m/s E) Considerando novamente somente o intervalo de tempo de subida, teremos:

B) Para estudarmos a variação da posição da bola $v = v + at \Rightarrow 0 = 5 - 10t \Rightarrow t = 0,5 \text{ s}$

em função do tempo, precisamos utilizar a função Logo, o intervalo de tempo total em que a bola fi ca

2 no ar é de 1 s.

$$s = v_0 t + \frac{a t^2}{2}$$

+

2

Considerando que a bola esteja na origem de nosso EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO sistema de coordenadas no instante inicial, temos que

sua posição inicial é $s = 0$. **01.** (PUC Rio-2007)
Um corredor velocista corre a prova dos 0

Logo, sua equação de posição em função do tempo 100 m rasos em, aproximadamente, 10 s. Considerando-se

será representada por: que o corredor parte do repouso, tendo aceleração constante,

e atinge sua velocidade máxima no fi nal dos 100 m,

$s = 5t - 5t^2$ a aceleração do corredor durante a prova, em m/s², é 2 (equação horária da posição)



A) 1,0. D) 4,0.

(Lembre-se de que $v_0 = 5 \text{ m/s}$ e $a = g \approx -10 \text{ m/s}^2$). B) 2,0. E) 5,0. Deve-se trabalhar com uma função do segundo grau.

C)
3,0.

Consequentemente, a representação das posições da bola no gráfico posição *versus* tempo será uma

parábola. Como o sentido positivo é para cima e como **02.** (CEFET-MG) Um carro corre a uma velocidade de 20 m/s

a bola foi lançada para cima, temos que as posições quando o motorista vê um obstáculo 50 m à sua frente.

ocupadas pela bola estão na parte positiva do eixo A desaceleração mínima constante que deve ser dada ao

das posições. Logo, o gráfico de posição em função do tempo para que não haja choque, em m/s^2 , é de

do tempo, para o movimento da bola, possui a forma A) 4,0. C) 1,0. mostrada na figura a seguir.

B) 2,0. D) 0,5.

s Neste momento, a bola

da trajetória. **03.** atinge o ponto mais alto

(UFES) O gráfico a seguir representa a velocidade de um objeto lançado verticalmente para cima, desprezando-se

a
ação
da
atmosfera

0 t 20

10

C) O valor da aceleração não mudou em instante algum, 0 t (s) 1 2 3 4

pois permanece constante e igual a $-9,8 \text{ m/s}^2$, durante -10

todo o movimento. Tanto durante a subida quanto -20 durante a descida, a aceleração, devido à gravidade,

sempre aponta para baixo. Logo, o gráfico de aceleração

versus tempo para esse movimento é uma reta paralela Assinale a afirmativa **INCORRETA**. ao eixo do tempo, como representado a seguir:

A) O objeto atinge, 2 segundos após o lançamento,

a o ponto mais alto da trajetória.

t B) A altura máxima atingida pelo objeto é 20 metros.

0

C) O deslocamento do objeto, 4 segundos após o

O objeto está lançamento, é zero.

$-9,8 \text{ m/s}^2$ D) A aceleração do objeto permanece constante durante subindo. O objeto está o tempo observado e é igual a 10 m/s^2 . descendo.

E) A velocidade inicial do objeto é igual a 20 m/s .

Movimento Uniformemente Variado e Movimento Vertical

04. (UFJF-MG) Um carro, realizando um movimento retilíneo **03.**
(FUVEST-SP) Dois trens, A e B, fazem manobra em uma

uniformemente variado, tem o reservatório de óleo estação
ferroviária, deslocando-se paralelamente sobre

furado. Considerando que o intervalo de tempo em que as trilhos
retilíneos.

gotas caem do reservatório é sempre constante, qual das No instante
 $t = 0$ s, eles estão lado a lado.

alternativas a seguir **MELhoR** representaria um trecho

da configuração deixada pelas gotas (representadas pelo O gráfico
representa as velocidades dos dois trens a

símbolo ‘ ’), quando estas caem sobre o piso? Despreze partir do
instante $t = 0$ s até $t = 150$ s, quando termina

a resistência do ar sobre as gotas. a manobra.

A distância entre os dois trens no final da manobra é

A)

v
(m/
s)

B)

+ 5 A B B

C)

0 B 50 A 100 A 150 t (s)

D) -5

E)

A) 0 m. D) 250 m.

05. (CEFET-CE) Observe o movimento da moto a seguir, B) 50 m. E) 500 m.

supostamente tomada como partícula. C) 100 m.

04. (Fatec-SP) Dois móveis, M e N, partem de um mesmo ponto e percorrem a mesma trajetória. Suas velocidades variam com o tempo, como mostra o gráfico a seguir.

Tempo (s) 0 1 2 3 4 5

v (m/s)

Velocidade (m/s) 0 2 4 6 8 10

M

DETERMINE 16 N **SICA**

A) o instante em que sua velocidade será de 20 m/s. **FÍ**

B) o deslocamento efetuado até esse instante.

0 10 t (s)

EXERCÍCIOS PROPOSTOS Analise as seguintes afirmações a respeito desses móveis:

01. I. Os dois descrevem movimento uniforme. (UFSCar-SP) Em um piso horizontal, um menino dá um

empurrão em seu caminhãozinho de plástico. Assim que II. Os dois se encontram no instante $t = 10$ s.

o contato entre o caminhãozinho e a mão do menino é III. No instante do encontro, a velocidade de M será

desfeito, observa-se que em um tempo de 6 s o brinquedo 32 m/s.

foi capaz de percorrer uma distância de 9 m até cessar

o movimento. Se a resistência oferecida ao movimento Deve-se afirmar que apenas

do caminhãozinho se manteve constante, a velocidade A) I é correta.

inicial obtida após o empurrão, em m/s, foi de

B) II é correta.

A) 1,5. C) 4,5. E) 9,0.

C)
III
é
correta.

B) 3,0. D) 6,0.

D) I e II são corretas.

02. E) II e III são corretas. (UFMG) Este gráfico, velocidade *versus* tempo, representa o

movimento de um automóvel ao longo de uma estrada reta.

v (m/s) **05.** (PUC Rio) Um atleta corre a uma certa velocidade

constante em linha reta e ultrapassa um carro que está

24 sendo acelerado ($a = 2,0 \text{ m/s}^2$) do repouso na mesma

direção e sentido. O instante de tempo $t = 0$ é o tempo

inicial de aceleração do carro e também o instante de

tempo em que o atleta passa pelo carro. O atleta consegue

se manter à frente do carro por 3,0 s. Qual é a velocidade

A distância percorrida pelo automóvel nos primeiros 12 s é A) 1,0 m/s D) 9,0 m/s

A) 24 m. C) 288 m. B) 3,0 m/s E) 11,0 m/s

B) 2,0 m. D) 144 m. C) 7,0 m/s

Editora Bernoulli **21**

Frente A Módulo 02

06. (UFSCar-SP-2006) Em um filme, para explodir a parede **08.**
(PUC Minas) Um astronauta lança, na Lua, um objeto

da cadeia, a fim de que seus comparsas pudessem verticalmente para cima, com velocidade inicial de

escapar, o “bandido” atea fogo a um pavio de 0,6 m de 8,0 m/s. O tempo de subida até alcançar a altura

comprimento, que tem sua outra extremidade presa a máxima foi de 5,0 s. Se o lançamento do objeto fosse

um barril contendo pólvora. Enquanto o pavio queima, feito na superfície da Terra, desprezando a resistência

o “bandido” se põe a correr em direção oposta e, no

do ar, com a mesma velocidade inicial com que

momento em que salta sobre uma rocha, o barril explode.

foi lançado na Lua, poderíamos fazer as seguintes

Rocha afirmações, **ExCET**o

A) A altura máxima alcançada na Terra seria menor do
 que a que foi alcançada na
 Lua.

B) O tempo de subida seria o mesmo nas duas situações.

Dublê C) O módulo da aceleração da gravidade da Lua é menor
 $v \text{ (m/s)}$

do
 que
 na
 Terra.

D) Na altura máxima, tanto na Lua quanto na Terra,
 5

a velocidade do objeto é nula.

6 t **09.** (Mackenzie-SP) Um corpo em queda livre, a partir do t (s)

repouso, gasta um certo tempo para percorrer uma

Chama do pavio distância h. Se um outro corpo, nas mesmas
 condições,

$v \text{ (m/s)}$ gastasse o triplo desse tempo, a distância
 percorrida

5×10 seria -2

A)
 $h/9$.

B)
 $h/3$.

0 t (s) t C) 3h.

Ao planejar essa cena, o técnico utilizou os dados gráficos

obtidos cuidadosamente da análise das velocidades do
dublê (que representa o bandido) e da chama no pavio,
o que permitiu determinar que a rocha deveria estar
a **10.** (UFMG) Um balão está subindo com uma velocidade

uma distância, relativamente ao ponto em que o pavio constante de
5 m/s. Em dado instante, solta-se um

foi aceso, em metros, de saco de areia que se encontrava preso à
lateral externa

A) 30. B) 40. C) 45. D) 60. desse balão. Para um observador na
Terra, a partir

desse instante e até o saco de areia chegar ao chão,

07. (UNESP-SP) O gráfico adiante mostra como varia a o movimento
dele, desprezando-se a resistência do ar,

velocidade de um móvel, em função do tempo, durante será

parte de seu movimento.

A) apenas uniforme, com velocidade igual a 5 m/s.

B) apenas uniformemente acelerado, com uma aceleração
menor do que a da gravidade.

C) inicialmente uniforme e, depois, uniformemente
localidade

acelera

Ve

D) uniformemente retardado e, depois, uniformemente

0 acelerado. Tempo 0

O movimento representado pelo gráfico pode ser o de uma **11**. (PUC Minas) Uma bola é lançada verticalmente para

A) esfera que desce por um plano inclinado e continua cima. No ponto mais alto de sua trajetória, é **CoRRETo**

rolando por um plano horizontal.

afirmar que sua velocidade e sua aceleração são,

B) criança deslizando num escorregador de um parque respectivamente,

infantil.

A) zero e diferente de zero.

C) fruta que cai de uma árvore.

B)
zero
e
zero.

D) composição de metrô, que se aproxima de uma

estação e para. C) diferente de zero e zero.

E) bala no interior de um cano de arma, logo após o disparo. D) diferente de zero e diferente de zero.

22 Coleção Estudo

Movimento Uniformemente Variado e Movimento Vertical

12. (UNESP-SP) Para deslocar tijolos, é comum vermos **15.**

(PUCPR–2010) A figura fornece a aceleração em função

em obras de construção civil um operário no solo, do tempo, $a(t)$, de um pequeno cachorro chihuahua,

lançando tijolos para outro que se encontra postado enquanto ele persegue um pastor-alemão ao longo de

no piso superior. Considerando o lançamento vertical, uma linha reta.

a resistência do ar nula, a aceleração da gravidade igual Marque a alternativa **CoRRETA**.

a 10 m/s^2 e a distância entre a mão do lançador e a do a

receptor $3,2 \text{ m}$, a velocidade com que cada tijolo deve

ser lançado para que chegue às mãos do receptor com

velocidade nula deve ser de 0 t

A) $5,2 \text{ m/s}$.

B) $6,0 \text{ m/s}$.

A B C D E F G H

C) $7,2 \text{ m/s}$.

A) No intervalo de tempo E, o chihuahua move-se com

D) $8,0 \text{ m/s}$.

velocidade constante.

E) $9,0 \text{ m/s}$.

B) Nos intervalos de tempo C, E e G, o chihuahua move-se

13. com velocidade constante. (UFMG) Um carro está andando ao longo de uma estrada

reta e plana. Sua posição em função do tempo está C) O chihuahua está parado no intervalo de tempo E.

representada neste gráfico. D) Nos intervalos de tempo B e D, a

velocidade e o

deslocamento do chihuahua são necessariamente

siçã E) Entre os intervalos A e B, o chihuahua inverte o
Po R o Q positivos.

sentido em que está correndo.

P

16. (UFMG) Este gráfico de aceleração em função do tempo

Tempo 10 kg, que parte do repouso e
desloca-se em linha reta. SICA refere-
se ao movimento de um corpo, cuja
massa é de

Sejam v_F , v_P e v_R os módulos
das velocidades do carro, Aceleração
(m/s^2)

respectivamente, nos pontos P, Q e R, indicados nesse

gráfico.

Com base nessas informações, é **CoRRETo** afirmar que

A) $v_P < v_Q < v_R$. 5 10 15 Q Tempo (s)

$$P_R -1,0$$

$$B) v_P < v_R < v_Q. -2,0$$

C) $v_Q < v_R < v_P$. A) **CoNSTRUA** o gráfico velocidade em função do tempo

D) $v < v < v . PQR$ para esse movimento.

B) **DETERMINE** a distância percorrida pelo corpo,

14. (Cesgranrio) Qual (ou quais) das figuras a seguir pode(m) de $t = 0$ até $t = 15$ s.

representar os gráficos das alturas (y) atingidas com o

tempo (t) por duas pedras lançadas verticalmente para **17.** (UFMG) Um carro está parado no sinal fechado. Quando

cima, desprezada a resistência do ar? (Suponha que todas o sinal abre, o carro parte com aceleração constante de

as curvas apresentadas sejam arcos de parábola). $2,0 \text{ m/s}^2$. Nesse mesmo instante, um ônibus, que se move

com velocidade constante de 10 m/s , passa pelo carro.

$y \ y \ y$

Os dois veículos continuam a se mover dessa mesma

maneira.

A) Em um mesmo diagrama, **REPRESENTE** as velocidades

0 do carro e do ônibus em função do tempo nos primeiros $t \ 0 \ t \ 0 \ t$

I II III 12 s após a abertura do sinal, identificando-as.

Considerando a situação descrita, **CALCULE**

A) I, somente.

B) I e II, somente. B) o tempo decorrido entre o instante em que o ônibus

passa pelo carro e o instante em que o carro alcança

C) I e III, somente.

o
ônibus

D) II e III, somente. C) a distância percorrida pelo carro, desde o sinal até o

E) I, II e III. ponto em que ele alcança o ônibus.

Editora Bernoulli 23

Frente A Módulo 02

Seção ENEM A altura que o Super-homem alcança em seu salto depende do quadrado de sua velocidade inicial porque

Em uma prova de 100 m rasos, o desempenho típico de um A) a altura do seu pulo é proporcional à sua velocidade

corredor padrão é representado pelo gráfico a seguir: média multiplicada pelo tempo que ele permanece no

12 ar ao quadrado.

) 10 B) o tempo que ele permanece no ar é diretamente

proporcional à aceleração da gravidade e essa é

8

diretamente proporcional à velocidade.

6

C) o tempo que ele permanece no ar é inversamente

localidade (m/s 4 proporcional à aceleração da gravidade e essa é

Ve 2 inversamente proporcional à velocidade média.

0 D) a aceleração do movimento deve ser elevada ao

0 2 4 6 8 10 12 14 16 quadrado, pois existem duas acelerações envolvidas:

Tempo (s)

a aceleração da gravidade e a aceleração do salto.

01. Baseado no gráfico, em que intervalo de tempo a E) a altura do seu pulo é proporcional à sua velocidade

velocidade do corredor é aproximadamente constante? média multiplicada pelo tempo que ele permanece

A) Entre 0 e 1 segundo. no ar, e esse tempo também depende da sua

B) Entre 1 e 5 segundos. velocidade inicial.

C) Entre 5 e 8 segundos.

D) Entre 8 e 11 segundos.

E) Entre 12 e 15 segundos. **GABARITO**

02. Em que intervalo de tempo o corredor apresenta **Fixação**
aceleração máxima?

A) Entre 0 e 1 segundo. 01. B 04. E

B) Entre 1 e 5 segundos.

02. A 05. A) 10 s

C) Entre 5 e 8 segundos.

D) Entre 8 e 11 segundos. 03. D B) 100 m

E) Entre 9 e 15 segundos.

Propostos 03. (Enem-2009 / Anulada)

01. B 05. B 09. D 13. C

o Super-homem e as leis do movimento 02. D 06. C 10.
D 14. A

Uma das razões para pensar sobre física dos 03. D 07. D 11. A 15. A
super-heróis é, acima de tudo, uma forma divertida

04. C 08. B 12. D

de explorar muitos fenômenos físicos interessantes,
desde fenômenos corriqueiros até eventos considerados 16. A) v (m/
s)

fantásticos. A figura seguinte mostra o Super-homem
lançando-se no espaço para chegar ao topo de um 10
prédio de altura H . Seria possível admitir que com seus

superpoderes ele estaria voando com propulsão própria, 0 t (s) 5 10
15 mas considere que ele tenha dado um forte salto. Neste

caso, sua velocidade final no ponto mais alto do salto B) 125 m
deve ser zero, caso contrário, ele continuaria subindo.

17.
A)
 v
(m/
s)

Sendo g a aceleração da gravidade, a relação entre a

velocidade inicial do Super-homem e a altura atingida é carro 24

dada por: $v_2 = 2gH$. 20

10 ônibus

0 t (s)

4 8 12

B)

t

=

10

s

C)

d

=

100

m

Seção Enem

KAKALIOS, J. *The Physics of Superheroes*. 01. C 02. A 03. E

USA: Gotham Books, 2005.

24 Coleção Estudo Física MÓDULO FRENTE Termometria e dilatometria 01 B

Dependendo da temperatura e da pressão, uma
substância **TEMPERATURA**

pode existir na forma sólida, líquida ou gasosa. Em
baixas

temperaturas, os átomos de um sólido apresentam agitação. A temperatura de um corpo indica o quão quente ele se

modera. Em temperaturas mais elevadas, os átomos oscilam mais em relação a um corpo de referência. Por exemplo,

mais rapidamente e tendem a se afastar uns dos outros. De nossa experiência diária, sabemos que a água fervente

O resultado é que os corpos dilatam-se quando aquecidos. Em uma panela está mais quente que a água que sai de uma

É por isso que, por exemplo, os cabos da linha de transmissão torcem-se de jardim. Por isso, a água fervente apresenta uma

temperatura maior que a água da torneira.

mostrados na figura 1, aquecidos pela passagem de corrente

elétrica, se alongam significativamente (no verão, esse efeito). Uma unidade de temperatura muito utilizada em nosso

é ampliado). Outro exemplo relacionado à dilatação térmica é o grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Convencionou-se que o valor

é o termômetro de coluna de líquido. Aquecido por uma de temperatura da água fervente e a temperatura da água

em fusão, ambas sob pressão de 1 atm, valem 100°C e

fonte de calor, o líquido do termômetro dilata-se, e a nova

0 °C, respectivamente. Temperaturas ambientes típicas posição da coluna registra a temperatura da fonte. Quase são próximas de 20 °C, e a temperatura interna do corpo

todas as substâncias dilatam-se com o aquecimento, sendo a humano é próxima de 38 °C. Alguns corpos são tão frios

água uma exceção. Entre 0 °C e 4 °C, ela se contrai quando que apresentam temperaturas muitos graus abaixo de 0 °C.

aquecida e se expande quando resfriada. Por exemplo, o nitrogênio em liquefação, sob a pressão

de 1 atm, apresenta a temperatura de -196 °C. Os corpos

também podem apresentar temperaturas muito elevadas,

como aquelas que ocorrem nas estrelas.

A temperatura é uma grandeza escalar. Basta dizer que

um corpo está a 45 °C, por exemplo, para você ter uma

noção do quão quente ele está. No caso de uma grandeza

vetorial, como velocidade e força, você precisa

especificar,
além do módulo, a direção e o sentido da grandeza
para ela
ficar
bem
definida.

As grandezas físicas associadas à matéria dividem-se
em

- duas categorias: as intensivas e as extensivas. O valor
de

- uma grandeza intensiva não se altera pelo fato de a
matéria

- ser dividida em duas ou mais partes. A temperatura é
uma

- de Arte grandeza assim. Considere, por exemplo, uma
jarra com

- Editoria 1 litro de água a 20 °C. Se essa água for repartida
em vários

- copos, a água em cada um continuará a 20 °C. Ao
contrário,

■

Figura 1: Os cabos de uma linha de transmissão de alta potência uma grandeza extensiva tem o seu valor alterado pelo fato

■

se encurvam, entre outros fatores, devido à dilatação térmica. de a matéria ser dividida. No exemplo dado, a massa de



A temperatura e a dilatação térmica são os temas
água em cada copo é uma fração da massa da água
na jarra.

■

abordados neste módulo. Na primeira parte, vamos
discutir Assim, a massa é uma grandeza extensiva.

■

o conceito físico da temperatura e ver como ela pode
ser O caráter intensivo da temperatura pode ser útil
em

■

medida. Na sequência, estudaremos a dilatação
térmica dos sua medição. Por exemplo, imagine uma
pequena caixa

■

sólidos e dos líquidos. A dilatação irregular da água
exerce com 100 abelhas. Como podemos medir a

temperatura

■

de apenas uma? Se todas as abelhas acham-se à
mesma

■

um papel de destaque na manutenção da vida marinha
em

■

temperatura (pergunte ao professor de Biologia se essa

■

regiões mais frias, e parte deste módulo será dedicada
ao



consideração é pertinente), então a temperatura do

■

estudo dessa dilatação anômala. Uma leitura
complementar grupo é a temperatura individual de
uma abelha. Assim,

■

sobre a estrutura molecular e as características se
inserirmos um termômetro por um orifício da caixa,



mecânicas dos sólidos, líquidos e gases finalizará a teoria de modo que o instrumento fique bem no meio dos insetos,

■

deste módulo. o valor registrado representará a temperatura de uma abelha.

■

Editora Bernoulli 25

■

■

■

■

■

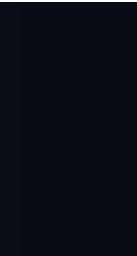
■

■

■

■

■



■

■





■

■

.

.

.

.

■

.

■

.

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

.



.



.

.

.

.

.

.



.



■

■

■

■

■

■

—

—

■

■

-

■

■

-

-

■

-

■

-

■

-

■

-

■

-

-

-

-

-

-

-

-

,

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

100

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
84

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

■

■

■

■

•

•

•

•

•

•

•

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■



1

2

3

4



5

6

7



8

9

10

11

12

13

14

15

16

17





1

2

3

4



5

6

7

8



9



10

11





Frente B Módulo 01

VISÃO MICROSCÓPICA DA O termômetro mais simples utiliza o comprimento de uma coluna de líquido como propriedade termométrica. A figura 2

TEMPERATURA mostra um termômetro clínico de coluna de mercúrio.

O conceito de temperatura descrito até aqui corresponde Esse instrumento é constituído por um tubo de diâmetro

a uma visão macroscópica. A temperatura também

pode interno muito pequeno (tubo capilar). O tubo é fechado na

ser explicada do ponto de vista microscópico. A matéria é extremidade superior, enquanto na parte inferior existe um

constituída por átomos e moléculas em constante movimento pequeno reservatório metálico, chamado de bulbo, onde o

translacional. Nos sólidos e líquidos, esse movimento mercúrio é armazenado. Quando o bulbo do termômetro é

corresponde a diminutas oscilações das moléculas em torno posto em contato com o corpo de um paciente, o mercúrio se

de uma posição de equilíbrio. Nos gases, as moléculas dilata devido ao aquecimento. A altura da coluna de mercúrio

percorrem distâncias maiores. A temperatura é uma medida

estabiliza-se quando ocorre o equilíbrio térmico entre
o

da energia cinética média de translação das moléculas ou

bulbo, o mercúrio e o paciente. Nesse momento, todos dos átomos de um corpo. Além do movimento translacional,

esses corpos apresentam a mesma temperatura. Assim,

moléculas formadas por dois ou mais átomos também podem

rodar e vibrar. Contudo, a energia cinética rotacional e a temperatura do paciente pode ser obtida pela leitura direta

vibracional das moléculas não interferem diretamente na da altura da coluna de mercúrio.

temperatura de um corpo.

Registro de temperatura

Bulbo

Não existe temperatura onde não há matéria. Não faz nenhum

sentido perguntar qual é a temperatura do vácuo porque não



existem átomos ou moléculas ali. Ao contrário, uma xícara de

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50



café quente contém moléculas e apresenta uma temperatura



alta. Um *iceberg* possui moléculas menos agitadas, por isso a Mercúrio Vidro



sua temperatura é baixa. Entretanto, como a massa do iceberg

Figura 2: Termômetro clínico de coluna de mercúrio.

é muito grande, a energia cinética total de suas moléculas é

maior que a energia cinética total das moléculas na xícara de O que um termômetro realmente indica é a sua própria

café quente. Não há nenhuma inconsistência nesse fato, pois temperatura. Por isso, quando usamos um termômetro

a temperatura é uma medida da energia cinética média das para medir a temperatura de um corpo, é essencial que a

moléculas, e não da energia cinética total. leitura seja feita apenas após o estabelecimento do equilíbrio

O fato de a temperatura ser uma medida da energia cinética térmico entre o termômetro e o corpo.

Quando dois corpos

média, e não da energia total, está em conformidade com a temperaturas diferentes são postos em contato, ocorre

o caráter intensivo da temperatura. Tomemos novamente um fluxo de calor entre eles. Depois de certo tempo,

o exemplo da jarra de água a 20 °C, discutido na seção os corpos atingem uma temperatura comum, situada entre

anterior. As moléculas de água apresentam uma energia as temperaturas iniciais dos corpos. Em geral, a massa do

cinética translacional média correspondente à temperatura corpo, cuja temperatura é medida, é muito maior que a massa

de 20 °C. As moléculas de água no fundo, no meio ou na do termômetro. Por isso, a temperatura de equilíbrio é muito

parte de cima da jarra apresentam exatamente o mesmo próxima à temperatura inicial do corpo. Em outras palavras,

valor médio de energia. A divisão dessa água em vários copos

a temperatura do termômetro se aproxima da
temperatura do

não modifica essa energia cinética média, e a temperatura

corpo, enquanto esta quase não varia. É exatamente
isso que

da água é a mesma em cada copo.

acontece quando um termômetro clínico é colocado
em um

doente com febre, digamos, de 40 °C. Após poucos
minutos,

MEDINDo UMA TEMPERATURA a

redução na temperatura da pessoa é desprezível, enquanto a temperatura do termômetro eleva-se e estabiliza-se em

A temperatura de um corpo pode ser determinada um valor muito próximo a 40°C .

por meio de instrumentos chamados termômetros. Um



termômetro pode ser graduado em diferentes escalas.



As mais importantes são as escalas Celsius, Fahrenheit e



Kelvin. Existem vários tipos de termômetros e, em todos eles, **PARA REFLETIR**



o registro de temperatura é obtido através da medição de uma



grandeza física que é função da temperatura. Essa grandeza Se não há temperatura no vácuo, por que um



é chamada de propriedade termométrica. Medindo-se termômetro registra um valor de temperatura



o seu valor, e conhecendo a relação matemática dela com a ao ser colocado no espaço entre a Terra e o Sol?

temperatura, esta pode ser determinada facilmente.

26 Coleção Estudo

Termometria e dilatometria

ESCALA CELSIUS Para obter essa relação, basta você dividir 180°F por 100°C , que são as

diferenças entre as temperaturas de fusão e de

O funcionamento de qualquer termômetro é baseado em ebulição da água nas escalas Fahrenheit ($212^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F}$)

alguma propriedade termométrica, de modo que existe uma e Celsius ($100^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}$). relação biunívoca entre essa propriedade e a temperatura

medida. Como já dito, a temperatura pode ser expressa Celsius Fahrenheit

100° 212° Ponto de ebulição da água

em várias escalas termométricas, sendo as escalas Celsius,

Fahrenheit e Kelvin as mais importantes.

A escala Celsius é usada como padrão para se medir a b

temperatura em quase todos os países do mundo. Proposta no 100°

século XVIII pelo sueco Anders Celsius, essa escala é baseada 20° a 50° na convenção de que, sob a pressão de 1 atm, as temperaturas 0° 32° Ponto de fusão da água de fusão do gelo e de ebulição da água são iguais a 0°C e 100°C , respectivamente. A figura 3 ilustra as marcações

desses valores em um termômetro de coluna de líquido.

Nesse termômetro, o espaço entre as marcas de

0 °C e 100 °C deve ser dividido em 100 partes iguais.

O intervalo entre duas marcações consecutivas valerá 1 °C,

de forma que o termômetro poderá ser usado para medir *Figura 4: Termômetro graduado nas escalas Celsius e Fahrenheit.*

temperaturas entre 0 °C e 100 °C, como a temperatura do

Agora, vamos usar a *figura 4* para obter uma equação ambiente ou a temperatura de uma pessoa. Se os intervalos

de recorrência entre as temperaturas Celsius e Fahrenheit.

de 1 °C forem estendidos abaixo e acima das marcações

Primeiro, considere os dois segmentos **a** e **b** mostrados de 0 °C e 100 °C, o termômetro poderá registrar algumas

na *figura*. Os valores da variação de temperatura dentro

temperaturas negativas, como a temperatura do interior de

desses segmentos são diferentes dependendo de qual escala

uma geladeira, e também temperaturas maiores que 100 °C, usamos. Porém, a razão entre eles (por exemplo, a/b) é a

como a do óleo quente. mesma, independentemente da escala usada. Chamando

a temperatura registrada na escala Celsius por T_c e aquela T_f na escala Fahrenheit por T_f , podemos escrever:

100°C registrada na escala Fahrenheit por T_f , podemos escrever:

$$\frac{T_c - 0}{100 - 0} = \frac{T_f - 32}{212 - 32} \Rightarrow T_c = \frac{5}{9}(T_f - 32)$$

Substitua valores para T_c e T_f nessa equação e verifique que

que eles concordam com os valores mostrados no

termômetro da figura 4.

Figura 3: Calibração de um termômetro de coluna de líquido.

ZERo ABSoLUTo

ESCALA FAHRENHEIT

Até onde sabemos, não existe um limite superior para a

A escala Fahrenheit foi proposta pelo cientista alemão temperatura da matéria. Nas estrelas, a matéria acha-se

Daniel Fahrenheit alguns anos antes de a escala Celsius no estado de plasma, e a temperatura pode atingir bilhões

ter sido criada. Muito popular nos Estados Unidos, de graus. Ao contrário, existe uma temperatura mínima

a temperatura Fahrenheit é simbolizada por $^{\circ}\text{F}$. O valor 32°F para a matéria. À medida que uma substância é resfriada,

corresponde à temperatura de fusão do gelo, e o valor 212°F , a agitação molecular diminui, e, se a temperatura pudesse

à temperatura de ebulição da água, a 1 atm. Outras chegar ao valor $-273,15^{\circ}\text{C}$ ($-459,7^{\circ}\text{F}$), o movimento

■
correspondências entre as temperaturas Celsius e
molecular cessaria. De fato, não é possível a
temperatura

Fahrenheit podem ser observadas no termômetro de
dupla abaixar até $-273,15^{\circ}\text{C}$, embora seja possível
aproximar-se

■
escala mostrado na fi gura 4. Por exemplo, a
temperatura desse número indefinidamente.
Atualmente, os físicos

■
registrada no termômetro, na escala Fahrenheit, é 80
graus, experimentais conseguem fazer a temperatura
descer a

enquanto o valor correspondente na escala Celsius é
um valores extremamente próximos a esse limite. Em
laboratórios

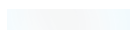


pouco maior que 25 graus. Usando a fita, você também avançados de baixa temperatura, certas substâncias são

pode verificar que uma variação de 1 °C na escala Celsius resfriadas, ficando a décimos de bilionésimo de graus acima

corresponde a uma variação de 1,8 °F na escala Fahrenheit. da temperatura mínima.

Editora Bernoulli 27







Frente B Módulo 01

Os físicos do século XIX notaram que havia um limite inferior para a temperatura antes mesmo de terem certeza de que a matéria era formada por átomos, e que o movimento **PARA REFLETIR** atômico se relacionava com a temperatura dos corpos.

Já naquela época, os cientistas conseguiram obter, de forma Segundo matéria da revista *Veja*, de junho de

indireta, o valor $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, ainda que imprecisamente. 2008, a temperatura inicial do Universo era de

O cientista inglês William Thomson (1824-1907), 10²⁸ graus. Por que, nesse caso, não é importante

também conhecido como lorde Kelvin, propôs uma escala especificar a unidade da temperatura? termométrica na qual a temperatura de $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ fosse

igual a zero, valor que passou a ser chamado de zero absoluto. Assim, na escala Kelvin (também conhecida

como escala absoluta), a temperatura correspondente

ao **EXERCÍCIO RESOLVIDO** repouso molecular vale 0 K (nesse caso, falamos zero

Kelvin, e não zero grau Kelvin). Uma substância jamais

pode ser resfriada até o zero absoluto, embora possa ser **01**. Um termopar é constituído por dois fios metálicos aproximada dele indefinidamente. Em 1995, os físicos

diferentes. Quando duas extremidades dos fios são

obtiveram, pela primeira vez, o quinto estado da matéria

(o condensado de Bose-Einstein) ao fazerem a temperatura livres. A junção dos fios é o bulbo do termômetro, -9 ligadas, aparece uma voltagem entre as extremidades

diminuir até a incrível marca de 70 nanokelvin (70 x 10 K). pois a voltagem gerada é função da sua temperatura.

Por mais que os cientistas consigam fazer uma substância Em uma feira de ciências, um estudante construiu um se aproximar de 0 K, eles jamais atingirão esse valor, e tão termômetro do tipo termopar usando dois fios A e B,

pouco temperaturas Kelvin negativas. conforme mostra a figura. Para calibrar o termômetro,

Na escala Kelvin, um intervalo entre duas divisões inteiras o estudante mergulhou o termopar em água fervente e sucessivas tem valor exatamente igual ao valor do intervalo 100 °C. As outras extremidades dos fios foram conectadas de 1 °C. Por isso, a equação de recorrência entre as escalas aos bornes de um milivoltímetro, que registrou uma

Kelvin e Celsius é a seguinte: voltagem de 4,85 mV. Depois, a experiência foi repetida

com o termopar mergulhado em gelo fundente. Nesse



$$T = T_{\text{caso}}, \text{ o aparelho marcou } 1,20 \text{ mV. } + 273,15^{\circ}\text{C}$$

$$4,85 \text{ mV } 1,20 \text{ mV}$$

Observe que, substituindo $T = -273,15^{\circ}\text{C}$ nessa equação, c

obtemos $T = 0 \text{ K}$, como esperado. Na maioria dos problemas,

podemos arredondar a parcela 273,15 para o valor inteiro 273, sem perder muito a precisão. Assim, o ponto B B de fusão da água vale 273 K, uma

temperatura ambiente

de 27°C vale 300 K , e assim por diante.

100°C A 0°C A

A figura a seguir mostra três termômetros graduados nas

escalas Fahrenheit, Celsius e Kelvin, marcando a temperatura

ambiente. Outras marcações de temperaturas estão indicadas

nos termômetros. Usando as equações que você aprendeu,

faça alguns cálculos e certifique-se das correspondências

entre as temperaturas indicadas nos três instrumentos.

Fahrenheit Celsius Kelvin



212°F 100°C 373 K

180 °F 100 °C 100 K A) Determinar a equação para converter a leitura do

32 °F 0 °C 2 273 K voltímetro em uma temperatura Celsius.

B) Calcular a temperatura local em °C, considerando que

o voltímetro marcou 2,30 mV depois que o termopar

–321 °F foi retirado da água e exposto ao ar livre. –196 °C 3 77 K

–460 °F **Resolução:** –273 °C 4 0 K

A) Nesse termômetro, a voltagem gerada nos fios A e B

representa uma propriedade termométrica. Por isso,

1 é possível converter a leitura do voltímetro (mV) para Ponto de ebulição da água a 1 atm



2 Ponto de fusão da água a 1 atm uma escala de temperatura convencional, como a



3 Ponto de liquefação do nitrogênio a 1 atm escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$). A equação de conversão pode ser



4 Zero absoluto determinada com a ajuda da figura adiante, em que



Figura 5: Correspondência entre temperaturas nas escalas T_c é a temperatura na escala Celsius, e V é a leitura Fahrenheit, Celsius e Kelvin. do voltímetro.



28 Coleção Estudo









.

.

■

■

.

■

.

■

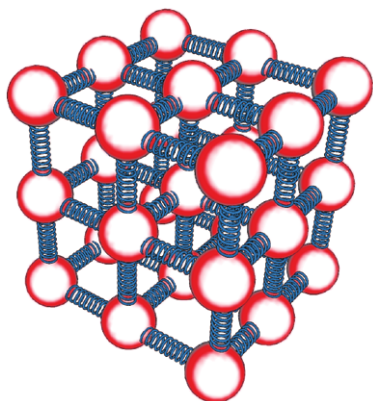
■

■



Termometria e dilatometria

4,85 mV 100 °C



V Tc

b

a

1,20 mV 0 °C

Figura 6: Modelo para um sólido cristalino.

Escala do Escala

termopar Celsius Muitas situações do cotidiano estão relacionadas com a

Como a relação entre os segmentos a e b é a mesma nas dilatação térmica. Na abertura deste módulo, comentamos

duas escalas, podemos escrever a seguinte igualdade: sobre a dilatação dos fios em uma linha de transmissão.

A junta de dilatação é outro exemplo de dilatação térmica.

As juntas são pequenas separações deixadas entre peças = $\Rightarrow T_c = 100 \text{ } 4 \text{ } 85 \text{ } 1 \text{ } 20 \text{ } , - , 3 \text{ } 65 \text{ } ,$ adjacentes, permitindo que essas se dilatam livremente.

Sem essas folgas, as peças se tocariam em um dia muito

B) Para o termopar exposto ao ar livre, $V = 2,30 \text{ mV}$. quente, gerando esforços de compressão e podendo causar

deformações permanentes nas peças. Podemos observar juntas

Substituindo esse valor na equação, obtemos a

de dilatação em muitos lugares, como nos trilhos de uma

temperatura ambiente:

estrada de ferro, entre duas lajes de um viaduto e na colocação

T 100 2 30 1 20 de pisos e azulejos. A seguir, apresentaremos as

equações , $(- ,) = = 30$
 $1 , ^\circ \text{C}$ para calcular a
 dilatação (ou contração) de
 um corpo quando $c 3 65 ,$
 sua temperatura é alterada.
 Neste módulo, estudaremos
 a

dilatação térmica dos sólidos e líquidos. A dilatação
 dos gases

Comentário:

fundamenta-se nos mesmos princípios microscópicos
 que

1. As temperaturas $0 ^\circ \text{C}$ e $100 ^\circ \text{C}$ não são medidas, discutimos.
 Porém, ela possui algumas particularidades que
 mas sim definições. Por isso, não levamos em
 justificam sua apresentação em outro módulo. **SICA**
 conta o número de algarismos significativos dessas **Fí**
 temperaturas nos cálculos.

2. A leitura do voltímetro depende da temperatura de onde

DILATaÇÃO LINEAR

a união dos fios A e B (termopar) acha-se imersa, mas
 também da temperatura das extremidades livres ligadas Embora os
 corpos sofram dilatação nas três dimensões,

ao voltímetro. Esse valor é a temperatura ambiente. Por muitas vezes é interessante analisar a dilatação apenas em

isso, a equação deduzida é válida para um ambiente uma delas.

Por exemplo, quando uma estrada de ferro é

a $30,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se a feira de ciências fosse realizada no construída, os engenheiros devem prever uma folga mínima

inverno, a equação de recorrência obtida seria diferente entre os trilhos para permitir a sua dilatação sem risco de

da que obtivemos, pois os pontos de ebulição ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) empenamentos. Nesse caso, não é relevante conhecer a

outra temperatura ambiente, produziram voltagens apenas uma dimensão, conhecida como dilatação linear, possui muitas aplicações na Física e na Engenharia. diferentes de $4,85\text{ mV}$ e $1,20\text{ mV}$. e de fusão ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) da água, em combinação com dilatação da altura e da largura dos trilhos. A dilatação em

Para calcular a dilatação linear, considere a barra

DILATaÇÃO TÉRMICA cilíndrica mostrada na figura 7. Inicialmente, ela possui

um comprimento L , à temperatura T . A seguir, considere ₀₀ que a barra seja aquecida homogeneamente e, após

Um sólido é chamado de cristalino quando suas moléculas alguns minutos, o comprimento da barra passa a ser L ,

se ligam formando uma estrutura organizada, que se repete à temperatura T . O aumento no comprimento da barra, ΔL , ao longo do corpo. A figura 6 mostra uma estrutura cristalina também está indicado nesta figura. cúbica. As moléculas, representadas por esferas, ligam-se

entre si através de forças elétricas. Simbolizamos essas T_0

ligações por meio de molas. O aumento da temperatura é L_0

acompanhado por uma maior vibração molecular. O resultado ΔL é que a distância média entre as moléculas também aumenta, T e o sólido cresce em todas as direções: no comprimento,

L

na largura e na altura. Quando a temperatura diminui, a vibração

molecular e a distância média entre as moléculas diminuem,

ou seja, a matéria sofre contração. Com raras exceções,

as substâncias se dilatam quando a temperatura aumenta

e se contraem quando a temperatura diminui. *Figura 7: Dilatação linear de uma barra cilíndrica.*

Frente B Módulo 01

Desde que a variação de temperatura não seja muito quando essa temperatura aumenta um pouco, o circuito

grande, ΔL é proporcional a ΔT . Assim, no aquecimento é religado. Esse acionamento é feito por um interruptor

mostrado na figura 7, se ΔT fosse o dobro, ΔL também seria conhecido por termostato, cujo princípio baseia-se

o dobro, se ΔT fosse o triplo, ΔL seria o triplo, e assim por na dilatação térmica. O mais simples dos termostatos é

diante. Além disso, a dilatação ΔL também é proporcional constituído por duas lâminas de metais diferentes (alumínio e

ao comprimento inicial L . De fato, como cobre, por exemplo), unidas entre si, como ilustra a figura 8. ΔL é proporcional

a ΔT e a L , significa que ΔL é proporcional ao produto $L \Delta T$. Inicialmente, as lâminas estão à temperatura ambiente. α

Introduzindo uma constante de proporcionalidade α ,

Nessa situação, elas apresentam comprimentos iguais.

a equação para calcular a dilatação térmica é a seguinte: Quando aquecidas, a lâmina de alumínio dilata mais que

a de cobre, pois o coeficiente α do alumínio é maior que o



Δ do cobre. Como as lâminas são solidárias (presas entre si), $L = L_0 \alpha \Delta T_0$ e como o comprimento final da lâmina de alumínio deve

Nessa equação, α é chamado de coeficiente de dilatação ser maior que o da outra, as lâminas se curvam para o lado

térmica linear, valor que depende do material da barra. do cobre. No resfriamento, situação também ilustrada na

O coeficiente α pode ser considerado constante em uma figura 8, o comportamento da lâmina bimetálica se inverte.

grande faixa de temperaturas. Podemos estudar melhor o A lâmina de alumínio sofre a maior retração, e o sistema se

coeficiente α explicitando-o como: curva para o outro lado.

$$\alpha = \frac{\Delta L_{\text{Alumínio}}}{L_{\text{Cobre}} T_0 \Delta}$$

Para $\Delta T = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, teremos $\alpha = \Delta L/L$. Essa razão indica

o percentual de aumento da barra em relação a seu comprimento inicial para uma variação unitária de temperatura. No Sistema Internacional, α é dado em $1/^{\circ}\text{C}$

ou $^{\circ}\text{C}^{-1}$, pois as grandezas L e L_0 aparecem no numerador e Δ

e no denominador da equação anterior, de modo que as

unidades de comprimento se cancelam (desde que L e L_0 sejam medidos em unidades idênticas).

Figura 8: Dilatação de uma lâmina bimetálica.

A tabela a seguir contém valores experimentais médios

do coeficiente de dilatação linear para sólidos comuns.



As variações desses coeficientes com a temperatura são,



em geral, desprezíveis comparadas às precisões exigidas **PARA REFLETIR** nos cálculos em Engenharia.



TABELA 1 - Coeficientes de dilatação linear Por que o bulbo de uma lâmpada de filamento



deve ser de vidro bem fino?



Material α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)



Alumínio 23×10^{-6}



Cobre 17×10^{-6} DILATAção
SUPERFICIAL E



Aço comum 11×10^{-6} VoLUMÉTRICA



Titânio especial 10×10^{-6}



Vidro comum $9,0 \times 10^{-6}$ Considere o sólido
mostrado na fi gura 9. Aquecendo-o,



Vidro pirex $3,0 \times 10^{-6}$ as arestas, as diagonais
das faces e as diagonais internas



O vidro é um material quebradiço, que se rompe facilmente dilatam-se. A dilatação térmica ocorre em todas as direções.

quando sofre impactos mecânicos e dilatações térmicas Por isso, as superfícies desse corpo, assim como seu volume,

bruscas e localizadas. Quando colocamos leite quente em um sofrem dilatações. copo de vidro de paredes grossas, o risco de ruptura do vidro

é maior do que em um copo de paredes fi nas. Neste último,

o calor se difunde mais facilmente, e o copo se dilata de forma

mais homogênea. O vidro pirex pode ser levado ao forno,

sem risco de ser quebrado, porque esse material sofre pouca

dilatação térmica (observe, na tabela anterior, que o coefi ciente

de dilatação do pirex é menor que o do vidro comum).

Alguns aparelhos elétricos podem ser acionados sob o comando da temperatura. Por exemplo, o circuito elétrico de uma geladeira é desligado sempre que a temperatura interna atinge um valor mínimo capaz

de garantir a conservação dos alimentos. Em seguida,

*Figura 9:
Dilatação
de um
sólido.*

30 Coleção Estudo

Termometria e dilatometria

Para muitos materiais, o coeficiente de dilatação linear é Para isso, os engenheiros usam a equação $\Delta d = \alpha \Delta T$

igual em todas as direções. Nesses materiais, a dilatação avaliar a dilatação do diâmetro do furo, sendo α o coeficiente é chamada de isotrópica. A dilatação isotrópica de um de dilatação do material da peça vazada. sólido acontece de maneira semelhante a uma ampliação

fotográfica, à exceção de que a dilatação é tridimensional,

enquanto a foto é bidimensional. Cada comprimento unitário

de reta ou curva do sólido (interna ou superficial) aumenta

de um valor igual ao coeficiente de dilatação linear para

cada grau de aumento de temperatura. Por isso,

podemos

calcular a dilatação térmica da área de uma placa de área *Figura 11: Montagem para comprovar a dilatação térmica de*

inicial A por meio da seguinte equação: *um anel metálico.*

Uma situação interessante relacionada com a dilatação de



$\Delta A = A \Delta T$ sendo $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ β $\Delta \beta$ α corpos vazados acontece com vidros de conservas ou doces

condicionados nas geladeiras. Você já deve ter notado que

O fator a tampa metálica desses frascos costuma ficar emperrada β é chamado de coeficiente de dilatação superficial.

O seu valor é, com alta precisão, igual ao dobro do coeficiente quando tentamos abri-los logo após a retirada do produto da

de dilatação linear. Isso pode ser justificado pela isotropia geladeira. Como o coeficiente de dilatação térmica dos metais

do material da placa. Observe a figura 10, que mostra uma ϵ maior que o coeficiente de dilatação do vidro (observe a

placa retangular de base a e altura b . A seguir, a placa é (tabela 1), a tampa metálica contrai-se muito mais que a

submetida a um aumento de temperatura ΔT . Os cálculos boca do recipiente quando o produto é resfriado (lembre-se

das dilatações da base e da altura estão indicados na figura. que a contração da boca do recipiente é proporcional ao

A dilatação da placa é representada pela área hachurada. coeficiente de dilatação do vidro, enquanto a contração da

Despreze a área do pequeno retângulo abaixo e à direita da tampa é proporcional ao coeficiente do metal). É por isso que a

placa (área em duplo hachurado), e calcule a dilatação da tampa fica emperrada. Uma maneira fácil de abrir o recipiente

placa. Você vai obter exatamente a equação da dilatação consiste em jogar água quente sobre a tampa. Dessa forma,

superficial apresentada anteriormente. ela se dilata, podendo ser retirada facilmente.

$\Delta a = a_0 \alpha \Delta T$ Finalizamos aqui a teoria sobre a dilatação de sólidos.

A seguir, apresentamos uma pergunta para você refletir e

um
exercício
resolvido.

a PARA REFLETIR

$\Delta b = b_0 T$ Uma placa metálica possui dois furos. Se a placa for aquecida, a distância entre os furos

Figura 10: Dilatação isotrópica de uma placa. aumentará ou diminuirá?

Semelhantemente à dilatação superficial, a dilatação

volumétrica isotrópica é dada por:

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta T \text{ sendo } \gamma = 3 \alpha$$



02. Uma régua de aço de 7,0 cm foi calibrada a 20 °C.



O fator γ é o coeficiente de dilatação volumétrica, e vale, A régua é usada em um ambiente muito quente, onde



com alta precisão, o triplo do coeficiente linear. a temperatura é de 45°C . Determinar o erro percentual



cometido ao se usar a régua nesse ambiente e discutir a



DILATAÇÃO DE SÓLIDOS VAZADOS

viabilidade do uso da régua nesse local. **Resolução:**



Na figura (a), a régua encontra-se em um local onde a



Objetos vazados, como anéis e tubos, dilatam-se como temperatura é de 20°C . Nesse local, o comprimento da

se fossem maciços. Isso pode ser comprovado por meio de uma régua, de fato, 7,0 cm. Na figura (b), a régua e uma

de uma experiência simples. Considere o anel e a esfera, barra estão a 45 °C. Nessa condição, a régua indica um

ambos metálicos, mostrados na figura 11. À temperatura comprimento de 7,0 cm para a barra. Entretanto, a barra

ambiente, o diâmetro do furo do anel é ligeiramente menor mede mais que isso, pois a régua de cima, a 20 °C, é que

que o diâmetro da esfera, de modo que ela não pode fornece a medida correta. passar pelo anel. Depois que esse é aquecido, todas as

suas dimensões aumentam, inclusive o diâmetro do furo. (a) 0 0 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 20 °C O resultado é que a esfera pode atravessar o anel quente.

Se aguardarmos o seu resfriamento, o anel voltará ao tamanho normal, e a esfera não poderá ser repassada pelo

furo. Se a esfera fosse mantida dentro do anel quente, (b) 45 °C 0 1 2 3 4 5 6 7 após o resfriamento, ela ficaria presa no anel. Esse tipo

de fixação é usado em certos processos de fabricação.

A equação da dilatação linear da régua é dada por: Volume



derramado

$$\Delta L = L - L_0 = L_0 \alpha \Delta T$$

Nessa equação, L_0 é o comprimento da barra (comprimento



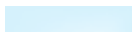
da régua a 20 °C), $L = 7,0$ cm é o comprimento da régua a



a 45 °C, $\Delta T = 45 - 20 = 25$ °C é a elevação de temperatura



e $\alpha = 11 \times 10^{-6}$ °C⁻¹ é o coeficiente de dilatação linear



do aço. Substituindo esses valores na equação anterior,



obtemos: *Figura 12: Dilatação aparente de um líquido.*



$L - 7,0 = 7,0 \cdot 11 \times 10^{-6} \cdot 25 \Rightarrow L = 7,001925$ cm A dilatação aparente do líquido (volume derramado) é a



diferença entre a dilatação real do líquido e a dilatação do

O erro da medição, portanto, é: **béquer**:

Erro $\Delta V = V - V_0 = 7,00195 - 7,00028 = 0,00167$ L, ou 0,167%, aparente $\Delta V_{\text{béquer}} = 0,00167$ L, ou 0,167%, As dilatações do líquido e do béquer podem ser calculadas

pela equação da dilatação volumétrica:

Comentário:

A régua é graduada em milímetros. Considerando o $\Delta V = V_2 - V_1 = V_1 \gamma_{\text{líquido}} \Delta T$ e $V = V_0 (1 + \gamma_{\text{líquido}} \Delta T)$ e $V_0 = V_1 (1 + \gamma_{\text{béquer}} \Delta T)$

conceito de algarismos significativos, a medição do O volume inicial do líquido é o mesmo da parte interna do

comprimento da barra é 70,0 mm (o segundo zero béquer. A variação de temperatura é comum ao líquido e ao

é o algarismo duvidoso). Esse valor coincide com o béquer. Substituindo essas grandezas na equação anterior,

obtemos a dilatação aparente do líquido:

comprimento corrigido pela dilatação térmica, e dado com

3 algarismos significativos. Portanto, a precisão da régua $\Delta V = V_2 - V_1 = V_1 \gamma_{\text{aparente}} \Delta T = V_1 \gamma_{\text{líquido}} \Delta T - V_1 \gamma_{\text{béquer}} \Delta T$

não é comprometida a 45 °C. De fato, como o coeficiente de dilatação do líquido do béquer

de dilatação do aço é baixo, réguas de aço são usadas em Colocando V_t em evidência, obtemos: Δ

laboratórios e oficinas de mecânica fixa. Réguas de cobre



e alumínio não são adequadas, tendo em vista os valores $\Delta V = V T (\gamma_{\text{aparente}} - \gamma_{\text{líquido}})$ béquer

elevados do coeficiente de dilatação desses materiais.

O termo entre parênteses (diferença entre os coeficientes

DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS de dilatação térmica volumétrica do líquido e do béquer)

é denominado coeficiente de dilatação térmica aparente.

Esse valor depende do par líquido / recipiente. Por exemplo,

Os líquidos são substâncias em que as forças de atração para o par mercúrio / vidro pirex, o coeficiente de dilatação

entre as moléculas ou átomos são fracas. Por isso, em geral, aparente vale:

os líquidos apresentam coeficientes de dilatação térmica $\gamma = \gamma_{\text{aparente}} - \gamma = 2,0 \times 10^{-4} - 6 \text{ mercúrio } \gamma - 3,0 \times 10^{-5} \text{ vidro}$ maiores que os sólidos. A tabela a seguir mostra

valores

de coeficientes de dilatação volumétrica de alguns líquidos $\gamma = 2,0 \times 10^{-4} - 0,030 \times 10^{-4} = 1,97 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ aparente

importantes, e que podem ser considerados constantes em

A interpretação desse número é a seguinte: uma unidade

uma grande faixa de temperatura. ΔV de volume, como 1 cm de mercúrio, ocupando um volume de

TABELA 2 - Coeficientes de dilatação volumétrica
1 cm³ em um recipiente de vidro pirex, sofre uma dilatação

aparente de 0,000197 cm³ quando a temperatura se eleva

Material $\gamma \text{ (} ^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$

de 1 $^\circ\text{C}$. Para um volume não unitário e uma variação de

Álcool etílico 11×10^{-4} temperatura não unitária, a dilatação aparente pode ser

Gasolina $9,0 \times 10$

ΔV calculada pela equação que deduzimos há pouco. Na figura 12,

para $V = 1\,000 \text{ cm}^3$ e $T = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$, por exemplo, o volume Δ

Glicerina $5,0 \times 10^{-4}$ de mercúrio derramado seria:

$$V = V_{\text{derramado}} + \Delta V_{\text{aparente}} = V_{\text{aparente}} + \gamma \Delta T$$

Agora, considere um líquido contido em um béquer, como

mostra a figura 12. Quando aquecido, o líquido se dilata, mas $V_{\text{derramado}} = 1\,000.1,97 \times 10^{-4}.100 = 19,7 \text{ cm}^3$

o béquer também. Por isso, a dilatação que vemos acontecer. Você também pode obter esse valor calculando a dilatação

(volume derramado) não é a dilatação real do líquido, mas do líquido, depois a dilatação do béquer e, por último,

sim a sua dilatação aparente. subtraindo esses dois valores.

32 Coleção Estudo

Termometria e dilatometria



PARA REFLETIR



PARA REFLETIR



Um termômetro de coluna de mercúrio Em 2000, o submarino Kursk afundou no



funcionaria se os coeficientes de dilatação do mar de Barents, matando os 118 tripulantes.



vidro e do mercúrio fossem iguais? Na ocasião, um jornalista narrou: “O resgate



é quase impossível, os mergulhadores



enfrentam temperaturas muito abaixo de 0°C .”



A DILATAção DA água Por que essa notícia não procede?



A maioria das substâncias sofre expansão quando aquecidas,



e retração quando resfriadas. A água, entretanto, apresenta **LEITURA CoMPLEMENTAR** um comportamento invertido entre 0°C e 4°C . O gráfico na



figura 13 ilustra a dilatação térmica de massas iguais (1,0 g) **ESTRUTURA DA MATÉRIA**



de álcool etílico e água, aquecidas a partir de 0 °C. Observe Neste módulo, estudamos a temperatura e a dilatação



o comportamento regular e esperado do álcool, que sofre térmica. Vimos que esses conceitos relacionam-se



diretamente com a estrutura molecular da matéria. Nesta



dilatação durante toda a faixa de elevação da temperatura.



O mesmo não ocorre com a água, que tem o volume reduzido moléculas para entender melhor a dilatação térmica e outros leitura, vamos discutir alguns aspectos da organização das entre 0 °C a 4 °C. A partir de 4 °C, o comportamento da fenômenos ligados à estrutura da matéria.



água é normal. A água, a 4 °C, apresenta o menor volume e, **os estados da matéria e suas propriedades** consequentemente, densidade máxima.



A maioria das propriedades físicas depende do estado



₃) 1,02 físico da matéria. A viscosidade, a densidade e o coeficiente



m de dilatação térmica são exemplos de propriedades



1,01 moléculas ou átomos próximos e fortemente ligados. É por

isso que esses corpos apresentam forma e volume definidos.

volume (c Além disso, a maioria dos sólidos resiste às deformações

FÍSICA

de tração, compressão e cisalhamento (esforço que ocorre

1,00 Mais densa quando uma força age paralelamente à superfície de um



O corpo, forçando suas camadas internas a deslizarem umas 4 10 20
30 40

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) sobre as outras). Os sólidos, em geral, apresentam baixos

Água coeficientes de dilatação térmica, também, por causa da
Álcool etílico forte ligação entre suas moléculas.



Figura 13: A dilatação regular do álcool e irregular da água.

Os sólidos cristalinos, como o diamante e o sal de cozinha,

Em regiões frias, a vida marinha poderia desaparecer
são formados por moléculas ou átomos organizados em uma

caso a água se dilatasse regularmente em toda a faixa

de estrutura que se repete ao longo da matéria. Nos sólidos
temperaturas. Nesses locais, as camadas superiores de
um amorfos, como vidros e plásticos, as moléculas ou átomos
combinam-se de uma forma não muito organizada. A fi gura
lago se congelam, mas as camadas inferiores
continuam



seguinte mostra uma estrutura amorfa e outra cristalina.
no estado líquido, permitindo a manutenção de
plantas e
animais aquáticos. Nessas regiões, quando o inverno
inicia,
a temperatura ambiente e a temperatura da superfície
do



lago começam a diminuir. À medida que a água da superfície

se resfria, ela sofre contração, torna-se mais densa e afunda, enquanto a água das camadas mais baixas sobe.

Essas correntes descendentes e ascendentes (chamadas de correntes convectivas) permitem que a água do lago se

Sólido amorfo Sólido cristalino



resfrie homogeneamente até a temperatura de 4 °C. Os líquidos são constituídos por grupos de moléculas

A partir desse ponto, a água da superfície continua

se afastados uns dos outros, muito mais do que nos

resfriando, pois a temperatura ambiente continua caindo, sólidos. Nem todas as moléculas de um líquido acham-se

ligadas, de modo que não há uma rede molecular como



mas a água torna-se menos densa, pois ela sofre expansão

aquela existente nos sólidos. As forças de atração entre

quando a temperatura torna-se inferior a 4°C . Por isso, as moléculas são fracas e, em consequência, os líquidos a água da superfície flutua sobre as camadas inferiores, que não resistem ao cisalhamento e escorrem (alguns líquidos se mantêm a 4°C . O resfriamento da superfície do lago são muito viscosos, como o mel e o óleo de motor,

continua, e a superfície se congela a 0°C , atingindo valores e escorrem com dificuldade). Alguns sólidos amorfos

apresentam estrutura molecular semelhante à dos

muitos graus abaixo de zero.

líquidos. Esse é o caso da manteiga, da borracha e do vidro. Quando um líquido entra em contato com um sólido, as

Em igrejas centenárias, a base dos vidrais é mais espessa moléculas do sólido atraem as moléculas do líquido. Essas

que o topo, revelando que o vidro escorreu lentamente ao são as forças de adesão. Por sua vez, as moléculas do líquido

longo dos séculos. Outras características marcantes de um atraem-se uma às outras através das forças de coesão. Quando

volume. Quando a água em um copo é jogada em um prato, líquido se espalha sobre o sólido. Dizemos, nesse caso, que o líquido molha a superfície. Isso ocorre, por exemplo, quando o volume não se altera, embora a forma se molde ao novo líquido são a resistência à compressão e a constância de as forças de adesão são maiores que as forças de coesão, o

um suco ou água é derramado sobre uma toalha. Outros formato do recipiente.

exemplos de forças adesivas maiores que as coesivas são:

Um gás é formado por moléculas ou átomos muito a tinta usada para cobrir uma parede, a parafi na derretida

separados entre si, e a força de interação entre essas subindo pelo pavio de uma vela e uma esponja que se encharca

partículas é muito pequena. Por isso, um gás apresenta sobre a superfície úmida.

forma e volume indefinidos. Um gás tende a ocupar o volume Quando a força de coesão é maior que a força de adesão,

que lhe é oferecido e é muito pouco resistente aos esforços o líquido não molha a superfície. Um exemplo disso ocorre

mecânicos. As moléculas de um gás são muito menos quando um pouco de mercúrio cai sobre o chão. O mercúrio

agregadas que as moléculas de um líquido, que, por sua vez, fragmenta-se em pequenas gotas que não molham o chão. O

são menos agregadas que as moléculas dos sólidos. Por isso, mercúrio apresenta uma tensão superficial muito alta, e ele

os gases sofrem dilatação térmica com muito mais facilidade não molha a maioria dos sólidos comuns. Quando colocamos

sólidos. Isso pode ser constatado no gráfico a seguir, que nas superfícies livres dos líquidos. Como a água molha a parede de vidro, o menisco é côncavo. O mercúrio não molha ilustra o aquecimento de amostras de alumínio, álcool etílico que os líquidos, e estes se dilatam mais facilmente que os água e mercúrio em um tubo capilar, observamos meniscos

e ar, todas ocupando inicialmente 1 cm a 0 °C.

3 a parede, e o menisco é convexo. A figura a seguir ilustra

essas
duas
situações.

3) 1,02

m

1,01

volume (c Mercúrio Água

1,00

Dilatação anômala da água

0 4 10 20 30 40 No final deste módulo, estudamos a dilatação anômala da

Temperatura (°C) água do ponto de vista macroscópico. Agora, vamos explicar

Alumínio Álcool etílico Ar esse fenômeno do ponto de vista microscópico. Para isso,

Em altíssimas temperaturas, um gás vira plasma, cristalina do gelo, constituída por estruturas hexagonais. As observe a figura seguinte, que mostra um esquema da estrutura

eletrizada, com muitos elétrons desligados dos núcleos. de hidrogênio, formando moléculas de água (H_2O). Em cada 2 Por isso, o plasma é um ótimo condutor de eletricidade. A molécula, a ligação entre os dois átomos de hidrogênio e o o quarto estado da matéria. O plasma é uma espécie de nuvem bolas vermelhas são átomos de oxigênio e as azuis são átomos

matéria das estrelas acha-se predominantemente no estado átomo de oxigênio é representada por barras curtas e pretas.

de plasma. As moléculas de água ligam-se umas às outras através das

ligações indicadas pelas barras longas e cinzas, unindo o oxigênio

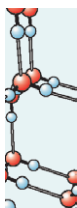
Tensão superficial

de cada molécula a um dos átomos de hidrogênio de uma das

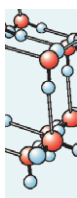
A tensão superficial é um efeito que ocorre na superfície moléculas vizinhas.

livre de um líquido. As moléculas situadas no interior do

líquido são atraídas em todas as direções pelas moléculas



vizinhas e, por isso, a resultante dessas forças é nula.



As moléculas da superfície, porém, sofrem uma força



de atração exercida pelas moléculas de líquido situadas abaixo ou lateralmente muito mais intensa do que a força de atração exercida pelas moléculas de ar situadas acima da superfície. Para garantir o equilíbrio,

como uma membrana elástica. A força exercida por essa Em geral, a fase líquida de uma substância é menos densa que a fase sólida. No caso da água, existem grandes espaços a superfície adquire uma curvatura, comportando-se

membrana, somada à força exercida pelas moléculas de ar,

equilibra-se com a força de atração exercida pelas moléculas entre as moléculas se rompem, e essas moléculas ocupam vazios nos cristais. Quando o gelo se funde, muitas ligações

de líquido da parte inferior da superfície. tais espaços. Por isso, ao contrário da maioria das substâncias,

que você já deve ter visto. Um inseto consegue andar sobre na densidade da fase líquida em relação à fase sólida. Assim, o gelo flutua na água. Essa redução de volume persiste a superfície da água, uma bolha de sabão pode atingir um O conceito de tensão superficial explica muitas situações a fusão da água produz uma redução no volume e um aumento

volume expressivo sem estourar e uma agulha de aço pode 4 °C. Para temperaturas maiores, o colapso das estruturas mesmo quando a fase líquida é aquecida de 0 °C até

flutuar em um copo de água. Tudo isso acontece porque hexagonais continua ocorrendo, porém o aumento da vibração

a superfície da água comporta-se como uma membrana molecular torna-se predominante. Acima de 4 °C, a água se

elástica. comporta normalmente, dilatando-se com o aquecimento.

34 Coleção Estudo

Termometria e dilatometria

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO 05. (Unicamp–

2007 / Adaptado) Pares metálicos constituem a base de funcionamento de certos disjuntores elétricos,

01. que são dispositivos usados na proteção de instalações (Fatec-SP) Em um laboratório, um cientista determinou

a temperatura de uma substância. Considerando-se as elétricas contra curtos-circuitos. Considere um par

temperaturas: metálico formado por uma haste de latão e outra de

-100 K ; $32\text{ }^{\circ}\text{F}$; $-290\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ aço, que, na temperatura ambiente, tem comprimento

Os possíveis valores encontrados pelo cientista foram $L = 4,0\text{ cm}$. Os coeficientes de dilatação desses

A) $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ e $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$. materiais são: D) -100 K e $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$.

B) $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ e $-290\text{ }^{\circ}\text{C}$. E) $-290\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$. $\alpha = 1,9 \times 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e latão $\alpha = 1,3 \times 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ aço

C) -100 K e $32\text{ }^{\circ}\text{F}$.

02. (Unimep-SP) Mergulham-se dois termômetros na água:

um graduado na escala Celsius e o outro na Fahrenheit. Latão

Espera-se o equilíbrio térmico e nota-se que a diferença

4,0 cm

entre as leituras nos dois termômetros é igual a 92.

A temperatura da água valerá, portanto, A) **ExPLIQUE** como esse dispositivo protege a instalação

A) 28 °C e 120 °F. C) 75 °C e 167 °F. elétrica.

B) 32 °C e 124 °F. D) 60 °C e 152 °F.

B) Se a temperatura aumentar de 60 °C, qual será a

03. diferença entre os novos comprimentos das hastes

(UFLA-MG-2006) Têm-se uma peça de metal com um

orifício de diâmetro d de aço e latão? e um pino do mesmo metal de

1

diâmetro d , ligeiramente maior que o orifício d , quando 2 1

à mesma temperatura. Para introduzir o pino no orifício,

pode-se **EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

A) aquecer o orifício e o pino igualmente.

B) resfriar apenas o pino. **SICA**

C) aquecer o pino e resfriar o orifício. **01.** (CEFET-

MG-2009) O conceito de temperatura foi **FÍ**

aprimorado nos últimos séculos. Nos dias atuais, está

D) resfriar apenas o orifício.

relaciona

E) resfriar o orifício e o pino igualmente.

A) ponto tríplice da água.

04. (UFPeL-RS) A água, substância fundamental para a vida B) grau de agitação térmica.

no planeta, apresenta uma dilatação anômala. Suponha C) equilíbrio térmico do meio.

que um recipiente, feito com um determinado material

D) mudança de estado físico.

hipotético, se encontre completamente cheio de água a

4 °C. E) sensação de quente e frio.

V Água 02. (UFLA-MG-2006) Alguns corpos apresentam características

físicas que variam com a temperatura, as quais são

Material chamadas de propriedades termométricas.

hipotético

Os termômetros se utilizam dessas propriedades para

medir temperatura. Analise as proposições I, II e III a

T (°C) seguir.

De acordo com o gráfico e seus conhecimentos, é I. A pressão de um gás a volume constante é considerada

CoRReto afirmar que uma propriedade termométrica.

A) apenas a diminuição de temperatura fará com que a II. A resistência elétrica é considerada uma propriedade

água transborde. termométrica.

B) tanto o aumento da temperatura quanto sua diminuição

III. A massa de um corpo é considerada uma propriedade
não provocarão o transbordamento da água.

termométrica.

C) qualquer variação de temperatura fará com que a

água transborde. A) Apenas a proposição I está correta.

D) a água transbordará apenas para temperaturas B) As proposições
I, II e III estão corretas.

negativas. C) Apenas as proposições I e II estão corretas.

E) a água não transbordará com um aumento de

D) Apenas a proposição II está correta.

temperatura, somente se o calor específico da

substância for menor que o da água. E) Apenas a
proposição III está correta.

Editora Bernoulli 35

Frente B Módulo 01

03. A barra transversal que liga os pontos A e B não exerce
(Mackenzie-SP-2010) Um termômetro graduado na

escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$) é colocado juntamente com dois forças sobre
esses pontos. Se a temperatura da armação

outros, graduados nas escalas arbitrárias A ($^{\circ}\text{A}$) e for aumentada de
 $\Delta\theta$, a barra transversal de comprimento

B ($^{\circ}\text{B}$), em uma vasilha contendo gelo (água no estado inicial $\square_0$

sólido) em ponto de fusão, ao nível do mar. Em seguida, A) continua não exercendo forças sobre os pontos A e B.

ainda ao nível do mar, os mesmos termômetros são

colocados em uma outra vasilha, contendo água em B) empurrará os pontos A e B, pois ficará 2 vezes maior

ebulição, até atingirem o equilíbrio térmico. As medidas que o novo tamanho que deveria assumir.

das temperaturas, em cada uma das experiências, estão C) empurrará os pontos A e B, pois ficará $\square_{0.\alpha.\Delta\theta}$ vezes

indicadas nas figuras 1 e 2, respectivamente. maior que o novo tamanho que deveria assumir.

D) tracionará os pontos A e B, pois ficará 2 vezes



menor que o novo tamanho que deveria assumir.



Y °C 80 °A 90 °B

E) tracionará os pontos A e B, pois ficará $\alpha \cdot \Delta\theta$ vezes o

menor que o novo tamanho que deveria assumir.

X °C 10 °A –10 °B (Mackenzie-SP) Com uma régua de latão
(coeficiente de **06.**

dilatação linear $2,0 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) aferida a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mede-se a distância entre dois pontos. Essa medida foi efetuada

a uma temperatura acima de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, motivo pelo qual

apresenta um erro de 0,05%. A temperatura na qual foi

feita
essa
medida
é

Figura 1 Figura 2

A) $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. D) $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



Para uma outra situação, na qual o termômetro graduado B) 45°C .
E) 25°C .

▪

na escala A indica 17°A , o termômetro graduado na C) 40°C .

l

escala B e o graduado na escala Celsius indicarão,



respectivamente, **07**. (CEFET-MG–2009) Uma placa de
material metálico



A) 0°B e 7°C . D) 10°B e 27°C . apresenta um orifício de pequenas
dimensões. Ao ser



B) 0°B e 10°C . E) 17°B e 10°C . aquecida, sua superfície _____
e o orifício



C) 10 °B e 17 °C. _____. Os termos da opção que preenchem,



CoRRETAMENTE, as lacunas são

-

04. (FEPECS-DF-2007) A figura mostra a correspondência A) dilata,
dilata.

-

entre a escala Celsius e a Reaumur, usada antigamente B) dilata,
contraí.



na França.

-

C)
contraí,
contraí.



Celsius Reaumur

D)
não
se
altera,
dilata.

100 80

E)
contrai,
não
se
altera.

0 0 08. (UFMG–2006) João, chefe de uma oficina mecânica,

precisa encaixar um eixo de aço em um anel de latão,

como mostrado nesta figura:

Anel de latão

-
Mede-se a temperatura de uma criança com um termômetro

-
graduado na escala Reaumur e obtém-se 32°R . Eixo de aço

-
Considerando-se $36,5^{\circ}\text{C}$ como a temperatura normal

-
dos seres humanos, verifica-se, então, que a criança

-
está febril, pois sua temperatura, em graus Celsius, é de

-
A) 38°C . C) 39°C . E) 40°C .

-
B) $38,5^{\circ}\text{C}$. À temperatura ambiente, o diâmetro do eixo é maior que
o D) $39,5^{\circ}\text{C}$.

-
do orifício do anel. Sabe-se que o coeficiente de dilatação

-
05. térmica do latão é maior que o do aço. Diante disso, (FGV-SP-
2008) Um serralheiro monta, com o mesmo tipo

-
de vergalhão de ferro (de coeficiente de dilatação linear α), são
sugeridos a João alguns procedimentos, descritos

-
a armação esquematizada. nas alternativas a seguir, para encaixar o
eixo no anel.

1

1

100

100

Figure 1

—

1

1

1

1

—

■

1

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-



-



-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-



-



-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

 Springer

1000

—

—

1000

—

100

—

—

1000

1000

1000

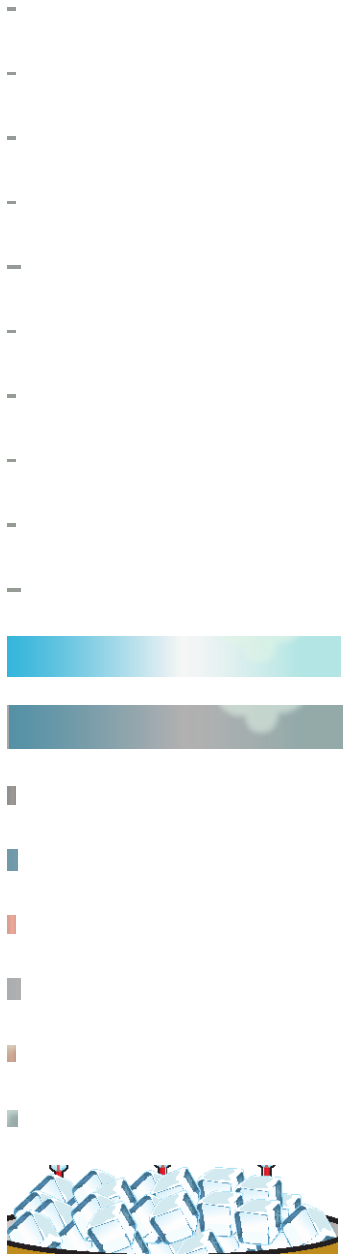
1

1

—

1

1



Termometria e dilatometria

09. A partir dessas informações, é **CoRRETo** afirmar que a (UEPG-PR) Um professor mostra para a sala os dois

frascos de vidro vazios 1 e 2 da figura. O professor lâmina bimetálica encurva-se para cima devido ao fato de

informa que as tampas são feitas de um mesmo A) o coeficiente de dilatação térmica do cobre ser maior

material indeformável e diferente do vidro, que as duas que o do ferro.

tampas estão plenamente ajustadas aos frascos, uma B) o coeficiente de dilatação térmica do cobre ser menor

internamente e outra externamente, e que o coeficiente que o do ferro.

de expansão dos vidros é α e o das tampas é α_v C) a condutividade térmica do cobre ser maior que a do

1 2 ferro.

D) a condutividade térmica do cobre ser menor que a do

ferro.

12. (UECE–2009) O mercúrio, que corre dentro dos

termômetros, por exemplo, não molha o vidro, nem

qualquer tipo de papel. Isso ocorre porque os átomos de

O professor pergunta o que pode acontecer com os vidros mercúrio

se a temperatura ambiente aumentar. Duas alunas se A) em contato com a superfície do vidro se desfazem,

manifestaram: espalhando-se.

Cecília: Apenas o vidro 1 se quebrará se B) possuem força de coesão maior que a força de atração $\alpha > \alpha_v$ com a superfície do vidro.

Fernanda: Apenas o vidro 2 se quebrará se $\alpha < \alpha_v$ C) são polares e as moléculas da superfície do vidro são

Sobre os comentários das alunas, apolares.

A) as duas acertaram. D) possuem força de atração com a superfície do vidro C) apenas Cecília acertou.

maior que a força de coesão.

B) as duas erraram. D) apenas Fernanda acertou.

10. 13. (FURG-RS) As moléculas da água no estado cristalino (CEFET-MG-2009) Uma barra de zinco e outra de alumínio (gelo) se organizam em estruturas hexagonais com de mesmo comprimento, $L_0 = 100,00 \text{ cm}$, à temperatura grandes espaços vazios. Ao ocorrer fusão, essas de 20°C , estão soldadas como mostra a figura. estruturas são rompidas, e as moléculas se aproximam Os coeficientes de dilatação linear dos metais são: umas das outras, ocasionando redução

no volume da **SICA** $\alpha = 26 \times 10^{-6}^\circ\text{C}$ e $\alpha = 22 \times 10^{-6}^\circ\text{C}$. Zn Al

substância. O aumento na densidade ocorre inclusive na **Fí**

fase líquida, de 0 a 4°C .

Coefficientes de dilatação linear

$$\text{Zn Al } \alpha_{\text{Zn}} = 26 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\alpha_{\text{Al}} = 22 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$$

A barra formada por esses materiais, ao ser aquecida

até 220°C , apresentará um comprimento final, L , em m

metros, igual a

A) 2,0044. C) 2,0052. E) 2,0096.

B) 2,0048. D) 2,0069.

O texto anterior explica o conceito de

11. (UFRN-2010) A figura 1, a seguir, mostra o esquema A) calor específico. D) capacidade térmica.

de um termostato que utiliza uma lâmina bimetálica B) evaporação. E) dilatação aparente.

composta de dois metais diferentes – ferro e cobre – C) dilatação anômala.

soldados um sobre o outro. Quando uma corrente elétrica

aquece a lâmina acima de uma determinada temperatura, **14.** (UFRJ–2008) Um incêndio ocorreu no lado direito de um

os metais sofrem deformações, que os encurvam, dos andares intermediários de um edifício construído com

desfazendo o contato do termostato e interrompendo a estrutura metálica, como ilustra a figura 1.

corrente elétrica, conforme mostra a figura 2.

1. Em consequência do incêndio, que ficou restrito ao Ferro lado direito, o edifício sofreu uma deformação, como ilustra a figura 2.

i i

Cobre

Figura 1

Ferro

Figura 1 Figura 2

Cobre Com base em conhecimentos de terminologia, **ExPLIQUE** por Figura 2 que o edifício entorta para a esquerda e não para a direita.

Editora Bernoulli **37**

15. A partir do gráfico, é correto concluir que o volume (UFPE) Uma caixa cúbica metálica de 10 L está

completamente cheia de óleo, quando a temperatura ocupado por certa massa de água

do conjunto é de 20 °C. Elevando-se a temperatura até A) diminui em menos de 3% ao se resfriar de 100 °C a 0 °C.

30 °C, um volume igual a 80 cm³ de óleo transborda. B) aumenta em mais de 0,4% ao se resfriar de 4 °C a

óleo é igual a 0,90 x 10 C) diminui em menos de 0,04% ao se aquecer de 0 °C – 3 °C – 1 , qual é o valor do coeficiente a 4 °C. de dilatação linear do metal, em unidades de 10 Sabendo-se que o coeficiente de dilatação volumétrica do 0 °C.

– 6 – 1 °C?

D) aumenta em mais de 4% ao se aquecer de 4 °C a

9
°C.

Seção ENEM E) aumenta em menos de 3% ao se aquecer de 0 °C a

100
°C.

01. 03. (Enem–1999) A gasolina é vendida por litro, mas, em sua (Enem–2009) Durante uma ação de fiscalização em utilização como combustível, a massa é o que importa. Um postos de combustíveis, foi encontrado um mecanismo aumento da temperatura do ambiente leva a um aumento inusitado para enganar o consumidor. Durante o inverno, no volume da gasolina. Para diminuir os efeitos práticos o responsável por um posto de combustível compra dessa variação, os tanques dos postos de gasolina são álcool por R\$ 0,50/litro, a uma temperatura de 5 °C. Para subterrâneos. Se os tanques não fossem

subterrâneos: revender o líquido aos motoristas, instalou um mecanismo

na bomba de combustível para aquecê-lo, para que atinja I. Você levaria vantagem ao abastecer o carro na hora

a temperatura de 35°C , sendo o litro de álcool revendido mais quente do dia, pois estaria comprando mais

a R\$ 1,60. Diariamente o posto compra 20 mil litros de massa por litro de combustível.

álcool a 5°C e os revende. II. Abastecendo com a temperatura mais baixa, você

Com relação à situação hipotética descrita no texto e dado estaria comprando mais massa de combustível para

que o coeficiente de dilatação volumétrica do álcool é de cada litro.

1×10^{-3} III. Se a gasolina fosse vendida por kg em vez de por kg^{-1} , desprezando-se o custo da energia gasta

no aquecimento do combustível, o ganho financeiro que litro, o problema comercial decorrente da dilatação

o dono do posto teria obtido devido ao aquecimento da gasolina estaria resolvido.

álcool após uma semana de vendas estaria entre Dessas considerações, somente

B) R\$ 1 050,00 e R\$ 1 250,00. B) II é correta. E) II e III são corretas. C) III é correta. C) R\$ 4 000,00 e R\$ 5 000,00. A) R\$ 500,00 e R\$ 1 000,00. A) I é correta. D) I e II são corretas.

D) R\$ 6 000,00 e R\$ 6 900,00.

GABARITO E) R\$ 7 000,00 e R\$ 7 950,00.

02. (Enem–2009) De maneira geral, se a temperatura de um

Fixação

líquido comum aumenta, ele sofre dilatação. O mesmo 01. A 02. C 03. B 04. C não ocorre com a água, se ela estiver a uma temperatura 05. A) Como o coeficiente de dilatação do latão é

próxima a de seu ponto de congelamento. O gráfico maior que o do aço, a lâmina se encurva para

mostra como o volume específico (inverso da densidade) o lado do aço devido ao aquecimento gerado

da água varia em função da temperatura, com uma pela passagem da corrente elétrica de curto

aproximação na região entre 0 °C e 10 °C, ou seja, nas circuito. Assim, a lâmina encurvada não toca

proximidades do ponto de congelamento da água. mais o fio, abrindo o circuito e interrompendo a passagem de corrente elétrica.

3 lâmina aquecida em 1,04

/g) 1,05 Movimento da Latão

Aço

Contato

1,03

(a)

1,02 B) $1,44 \times 10^{-3}$ cm

lume específico (c 1,01

Propostos

Vo

1,00 01. B 04. E 07. A 10. E 13. C 0 20 40 60 80 100

Temperatura (°C) 02. C 05. A 08. C 11. A

14. Um metal se dilata quando é aquecido. Assim,

1,00020 a estrutura metálica do lado direito do prédio, após

(b) 1,00010 m a estrutura do outro lado. Por isso, o prédio se (c 3 /g) o incêndio, deve ter um comprimento maior que

lume específico -6 0 1,00000 entorta para o lado indicado. Vo 2 4 6 8 10 15. $\alpha_{\text{REC}} = 33 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) **Seção Enem**

HALLIDAY & RESNICK. *Fundamentos de Física*: Gravitação,

Ondas e Termodinâmica. v. 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e 01.
D 02. C 03. E

Científicos, 1991.

38 Coleção Estudo Física MÓDULO FRENTE Propagação de calor 02 B

Todo corpo possui uma energia interna molecular. Além A bancada transfere calor para esses corpos por meio de um

disso, um corpo pode apresentar energias externas, tais processo conhecido como condução térmica. Esse modo de

como a energia cinética ou a energia potencial gravitacional. transferência de calor ocorre tipicamente nos meios sólidos,

A energia de um sistema pode aumentar ou diminuir por meio mas também pode se manifestar em líquidos e gases. Outro

da transferência de calor e / ou da realização de trabalho. exemplo de condução térmica, presente nessa figura, é a

Por exemplo, você pode aquecer suas mãos e aumentar a transferência de calor da frigideira para a mão da pessoa

energia interna delas esfregando-as uma na outra, ou, ainda, através do cabo da vasilha. Por último, o calor se propaga no

colocando-as debaixo da corrente de água quente que sai de café dentro do bule por meio de um modo de transferência de

um chuveiro. No primeiro caso, as mãos se aquecem devido calor conhecido como convecção térmica. A convecção envolve

ao trabalho realizado pela força de atrito. No outro caso, o movimento do meio e, por isso, ocorre apenas nos fluidos.

o aquecimento das mãos se deve à transferência de calor da O ar sobre a chama e o ar sobre a bancada de ferro também se

água quente para as mãos. aquecem por convecção térmica.

Neste módulo, vamos iniciar o estudo sobre o calor, definindo-o
Convecção Condução

e discutindo os três modos pelo qual ele pode se propagar:

a condução, a convecção e a radiação. Para cada uma dessas

formas de propagação do calor, nós analisaremos o conceito

físico envolvido no respectivo processo; também aprenderemos

a calcular a quantidade de calor trocada entre sistemas.

Ao longo deste estudo, apresentaremos vários exemplos do

dia a dia relacionados à propagação do calor, muitos deles Radiação envolvendo, combinadamente, duas ou mesmo as três formas

de propagação do calor.

Figura 1: Modos de propagação do calor.

CoNCEITO DE CALoR E oS A seguir, vamos estudar, mais detalhadamente, cada um dos três modos de propagação do calor.

MoDoS DE PRoPAGAção

CoNDUção TÉRMICA

O calor é uma forma de energia em trânsito que se manifesta **A**
condução e a difusão da energia

devido a uma diferença de temperatura no espaço. Podemos

citar inúmeros exemplos relacionados à propagação do calor.

O café em uma xícara se resfria ao ar livre porque a bebida, A transferência de calor por condução está associada às

estando a uma temperatura mais elevada que a do ambiente a atividades atômicas ou moleculares da matéria. A figura 2

seu redor, cede calor para o ar ambiente e para a própria xícara. mostra, esquematicamente, as moléculas de um gás confinado

Uma pessoa transfere calor para o ar próximo à sua pele em um espaço onde existe o perfil de temperatura, ao

porque seu corpo está mais quente que o ambiente. longo do eixo x, indicado no gráfico à esquerda do gás.

Por sua vez, essa pessoa se aquece diante de uma lareira porque Se a largura do espaço (L) for suficientemente pequena,

as chamas apresentam uma temperatura muito maior que a não haverá movimento global (macroscópico) de massas,

de seu corpo. Em todos esses exemplos, a quantidade de calor e a transferência de calor ocorrerá apenas por condução.

cedida pelo corpo ou sistema à temperatura mais alta é igual à T

quantidade de calor recebida pelo corpo à temperatura mais baixa.

Agora, observe a figura 1. Ela ilustra várias transferências de calor. A chama da lenha em combustão acha-se a uma temperatura muito alta. Por isso, ela transfere calor para L/2 a bancada de ferro onde se apoiam as duas vasilhas.

A propagação do calor entre a chama e a bancada ocorre Fluxo principalmente por meio da luz emitida pela chama. Esse de modo de propagação do calor é chamado de radiação calor térmica. Muitas vezes, a radiação térmica ocorre por meio L

de emissões invisíveis, como a radiação infravermelha x emitida pelas paredes de um forno. Naturalmente, a bancada

de ferro está mais quente do que o bule e a frigideira. *Figura 2: A condução de calor e a difusão da energia molecular.*

Editora Bernoulli 39

Frente B Módulo 02



Como a temperatura do gás diminui de cima para baixo,

as moléculas do gás situadas acima do plano de abscissa ΔT K A $\varphi = x = L/2$ apresentam velocidades médias maiores que as L moléculas na parte de baixo. Ainda que algumas moléculas possam atravessar o plano de baixo para cima durante um

intervalo de tempo Δt , o número de moléculas que faz o caminho Nessa expressão, φ representa a quantidade de inverso, nesse mesmo

intervalo de tempo, é maior. O resultado energia calorífica através da barra por unidade de tempo.

é que a transferência líquida de moléculas mais energéticas No Sistema Internacional, ϕ é dado em joules/segundo (watt). ocorre no sentido positivo do eixo x. Essa transferência de A geometria da barra é definida por A e L, que são a área

energia é semelhante à difusão de massa que ocorre entre da seção transversal e o comprimento da barra. O termo

duas soluções de concentrações diferentes, separadas por uma ΔT é a diferença de temperatura ($T_1 - T_2$) geradora do fluxo de calor. O parâmetro K é a condutividade térmica,

condução é interpretada como uma difusão de energia gerada uma propriedade física que depende do material da barra.

pelo movimento molecular aleatório. Bons condutores, como os metais em geral, possuem alta

condutividade térmica, e bons isolantes de calor são fabricados

Nos líquidos, as moléculas estão mais próximas do que com materiais de baixa condutividade térmica. Por exemplo,

nos gases, e as interações moleculares são mais fortes e a condutividade térmica do alumínio, a 300 K, vale $293 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$,

frequentes. Mesmo assim, a condução de calor nos líquidos enquanto a condutividade térmica do papel comum, nessa

ocorre de maneira semelhante à dos gases. Nos sólidos, temperatura, vale $0,18 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$. Assim, uma folha de papel

todas as moléculas se acham ligadas (rede cristalina). tem um poder de isolamento térmico 1 630 vezes maior que

A condução de calor se manifesta através de ondas de uma folha de alumínio de mesma espessura. vibração (fônons), que se propagam das partes mais quentes,

onde a vibração molecular é mais intensa, em direção às A figura 4 apresenta a condutividade térmica de várias

partes mais frias. Nos metais, a taxa de difusão da energia substâncias

e estados da matéria em temperaturas e pressões

molecular é aumentada expressivamente devido à presença normais. Os gases, em geral, não são bons condutores,

de elétrons livres, pois essas partículas podem sofrer apresentando valores baixos de condutividade térmica.

grandes translações. Por isso, em geral, bons condutores É por isso que um edredom (cobertor feito de tecido sintético,

de eletricidade são também bons condutores de calor. entremeado de ar) é um excelente isolante térmico. Os metais

Nos metais, a contribuição dos deslocamentos dos elétrons sólidos apresentam elevada condutividade térmica e são bons

livres predomina sobre a contribuição dos fônons, enquanto, condutores de calor. Por isso, você sente mais frio ao tocar um

nos materiais maus condutores de calor, como a borracha e martelo de ferro do que o seu cabo de madeira, mesmo quando

a madeira, a contribuição dos fônons é a parcela dominante. estão, ambos, à temperatura ambiente.

A LEI DE FoURIER Sólidos não metálicos

a quantidade de calor transferida por condução térmica Agora, vamos apresentar a Lei de Fourier para calcular a a Geloat Níquel Alumínio Cobre Pr ao longo de um corpo. Para isso, considere a fi gura 3, que Madeir

a uma diferença de temperatura entre suas extremidades. Sólidos mostra uma barra feita de um material homogêneo exposta Isolantes sintéticos

A barra é isolada lateralmente, de maneira que o fl uxo de calor Espumas metálicos Fibras

ocorre apenas ao longo do comprimento. A temperatura na face

esquerda, T_1 , é maior que a temperatura T_2 da outra face. Por Líquidos isso, o fl uxo de calor ocorre da esquerda para a direita, conforme está indicado na fi gura. o

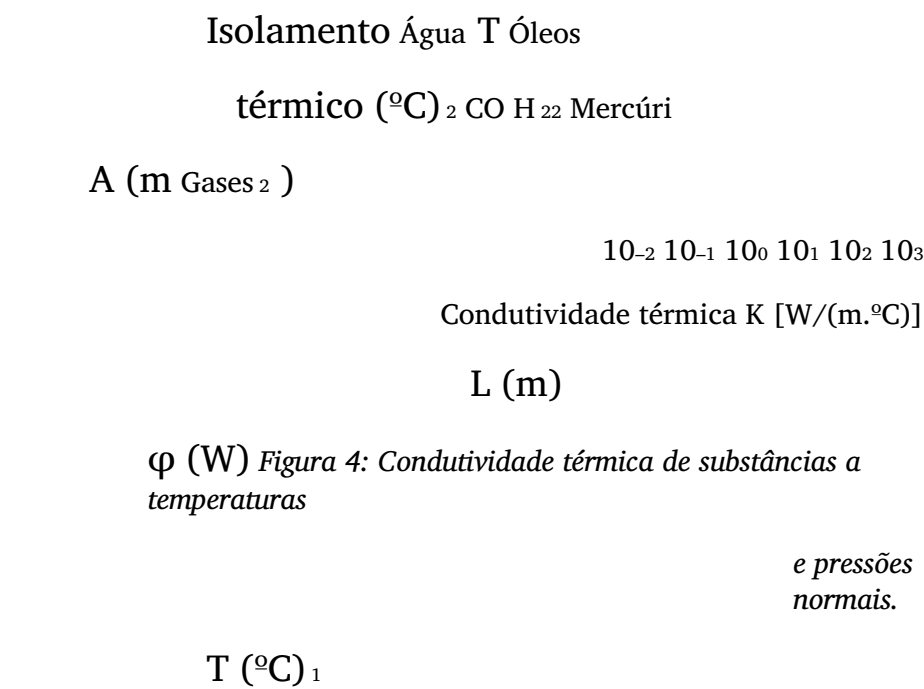


Figura 3: A condução de calor unidirecional ao longo de uma

barra isolada lateralmente.



PARA REFLETIR



Para condições de fluxo de calor em regime estacionário,



o perfil de temperaturas ao longo da barra é constante no Por que a serragem é um melhor isolante que



tempo. Nesse caso, a taxa de transferência de calor $\dot{q}$ também



a própria madeira?

é constante no tempo e pode ser calculada através da seguinte equação (a Lei de Fourier):

40 Coleção Estudo

Propagação de calor

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Existem dois tipos básicos de convecção térmica, a convecção natural (ou livre) e a convecção forçada.

Na convecção natural, o movimento do fluido é provocado por

01. forças de empuxo causadas por um campo de temperaturas e
Uma pessoa segura uma barra de ferro, de comprimento

50 cm e área da seção transversal de $1,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ densidades no fluido.
Na convecção forçada, o movimento do

mantendo uma ponta no fogo, conforme mostrado na figura é
provocado por um agente externo, como um ventilador,

figura a seguir. A condutividade térmica do ferro vale uma bomba
ou ventos atmosféricos. Quando você está parado,

$60 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$. e não há ventos, seu corpo transfere calor para o ar
por meio da

convecção natural. O ar próximo a seu corpo se aquece, torna-se
menos denso, e se eleva, transportando calor cedido por você.

Por sua vez, o ar um pouco mais distante move-se para substituir



o ar ascendente. Quando você corre, ou há uma brisa forte,



seu corpo transfere calor por convecção forçada. Nesse caso,



a renovação de ar próximo ao corpo se dá de maneira



muito mais rápida, e a transferência de calor ocorre com

A) Explicar por que a ponta da barra exposta ao fogo Uma massa de água dentro de uma panela é aquecida por meio A figura 5 ilustra um exemplo clássico de convecção natural.

não se acha à temperatura da chama. da chama de um fogão. A água logo acima do fundo quente da

B) Considerando que a ponta exposta ao fogo está panela se aquece por condução, apresentando uma temperatura

a 400 °C, e a outra, a 150 °C, estimar a taxa de maior e uma densidade menor do que as camadas superiores de

transferência de calor ao longo da barra. água. Menos densa, a água do fundo sobe, trocando de posição

C) Explicar por que a pessoa não se queima ao segurar com as massas mais densas que se acham na parte superior.

a barra. Dessa forma, aglomerados com muitas moléculas formam correntes convectivas que circulam na água conforme indicado

Resolução:

na figura. Próximo ao fundo da panela, a difusão da energia

A) A chama transfere calor por radiação para a barra, molecular predomina sobre a advecção. Logo acima do fundo,

principalmente para a ponta exposta ao fogo. Para o o mecanismo da advecção é que prevalece. fluxo de calor ocorrer nesse sentido, a temperatura

da chama deve ser maior que a temperatura da ponta **SICA**

aquecida pelo fogo. Logo, a ponta da barra não pode **FÍ**

estar à mesma temperatura da chama.

B) Desprezando as perdas de calor nas laterais da

barra, e admitindo que a barra apresente um perfil

estacionário de temperatura, podemos usar a Lei de *Figura 5: Correntes convectivas no aquecimento de uma massa*

Fourier para calcular a taxa de transferência de calor *de água*.

ao longo do comprimento da barra. No aquecimento convectivo descrito anteriormente,

é essencial que a fonte de calor seja posicionada na parte

$\phi \Delta T$ 400 150 – inferior do sistema. Se a água fosse aquecida por cima, $= K A = 60 \cdot 10^{-4} \cdot L \cdot 0,50$, as camadas superiores da água é que ficariam mais quentes

$\phi = 30$ W e menos densas. Assim, elas flutuariam, e o aquecimento da

água ocorreria apenas por condução. Como a água possui baixa

C) Apesar de a temperatura da ponta da barra ser de condutividade térmica, o aquecimento do líquido aconteceria

150 °C, a pessoa consegue segurar nessa ponta muito lentamente. Por outro lado, para resfriar um fluido,

porque ela está usando luvas feitas de um material a fonte usada para absorver o calor deve ser posicionada acima

isolante de calor. Como a condutividade térmica de um do fluido. É por isso que os congeladores de uma geladeira

isolante é muito pequena, o fluxo de calor através das comum situam-se na parte de cima do aparelho. A figura 6

luvas também é muito pequeno. Logo, a quantidade ilustra o movimento de massas de ar dentro de uma pequena

de calor que chega às mãos da pessoa é pequena, geladeira. Lembrando que o ar mais frio apresenta maior

não sendo suficiente para queimá-las. densidade, procure entender por

que as correntes convectivas
apresentam as direções indicadas nessa figura.

CoNVECção TÉRMICA

A transferência de calor por convecção ocorre apenas nos fluidos. A convecção está associada a dois mecanismos,



um microscópico, relativo à difusão da energia molecular,



e o outro macroscópico, envolvendo o movimento global de



massas gerado por um perfil de temperaturas e densidades



no interior do fluido. Modernamente, é comum usar o termo



advecção para o mecanismo de transferência de calor associado



ao movimento global, e o termo convecção para a transferência



cumulativa envolvendo a difusão e a advecção. *Figura 6: Correntes convectivas no interior de uma geladeira.*







Frente B Módulo 02

Os ventos são movimentos de massas de ar originárias de Convecção e radiação

correntes convectivas na atmosfera da Terra. Essas correntes

ocorrem porque algumas partes da superfície terrestre se

aquecem diferentemente de outras. Um exemplo são os ventos

de beira-mar. Durante o dia, em geral, a superfície costeira se

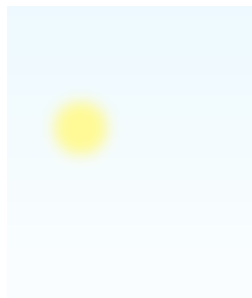
acha mais quente e menos denso do que o ar superior. Sobre Radiação aquece mais que o mar. Por isso, o ar logo acima do solo se o mar, ocorre justamente o contrário. O ar sobre a água fria

é mais denso que o ar de camadas superiores da atmosfera. *Figura 8: Propagação do calor por radiação.*

O resultado é que o ar quente próximo ao solo se eleva, enquanto As ondas eletromagnéticas podem se propagar em o ar frio próximo ao mar move-se e o substitui, gerando a diversos meios, inclusive no vácuo. Assim, enquanto circulação de ar mostrada na primeira ilustração da fi gura 7. as propagações do calor por condução e por convecção A outra ilustração mostra as brisas de beira-mar durante a noite. necessitam de um meio material, a propagação do calor Nesse caso, o mar acha-se mais quente do que a superfície por radiação manifesta-se também no vácuo. Na verdade, costeira. O ar logo acima do mar sobe, e uma brisa sopra da não havendo a presença de matéria para absorver a energia costa para o mar, fazendo a substituição do ar ascendente. da onda eletromagnética, a transferência de calor por radiação

ocorre com mais efi ciência justamente no espaço vazio.

Ar de retorno Existem vários tipos de ondas eletromagnéticas, diferenciando-se



pela frequência de oscilação da onda. Qualquer corpo emite ondas

eletromagnéticas em uma infinidade de frequências. Porém, de acordo

com a temperatura, a radiação ocorre predominantemente em certa faixa de frequência, conforme indicado na figura 9. Por exemplo,



o Sol, cuja superfície acha-se aproximadamente a 6 000 K,



Ar transmite calor para a Terra por meio de ondas eletromagnéticas
Brisa do mar Ar



quente predominantemente na faixa da luz visível, enquanto as
paredes do Ar frio



frio forno de um fogão, à temperatura de 500 K, assam os alimentos,
predominantemente, por meio de radiação infravermelha,
também conhecida como radiação térmica ou onda de calor.

Ar de retorno Visível



Infravermelho Ultravioleta

10⁶



7 000 K



frio Ar 4 000 K Ar Brisa da costa 10³



quente 1 000 K

radiação
(unidades
arbitrárias)

temperatura
1
300
K

Figura 7: As brisas de beira-mar são decorrentes do aquecimento

desigual do mar e da costa.

10^{12} 10^{13} 10^{14} 10^{15} 10^{16}

Intensidade da Frequência (Hz)

RADIAÇÃO TÉRMICA Figura 9: Curvas de radiação para diferentes temperaturas.

A Lei de Stefan-Boltzmann e as

A radiação e as ondas propriedades radiantes da matéria

■

eletromagnéticas

Uma superfície emissora ideal de radiação é chamada de



A figura 8 mostra uma pessoa se aquecendo próximo ao corpo negro, cuja taxa de emissão de radiação eletromagnética

■

fogo. Como o ar é um gás, sua condutividade térmica é dada por: pequena, e a transferência de calor por condução térmica $\varphi_n = \sigma AT^4$

■

das chamas às mãos da pessoa é desprezível. Tão pouco Nessa equação, φ é a quantidade de radiação emitida pelo corpo n as mãos se aquecem por convecção, pois o ar quente sobe. negro por unidade de tempo. No Sistema Internacional, φ é dado n As mãos, nesse caso, se aquecem porque elas absorvem parte em watt, o fator σ é a constante de Stefan-Boltzmann, que vale da radiação emitida pelas chamas. De fato, todos os corpos $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$, A é a área da superfície emissora em m^2 , emitem radiação na forma de ondas eletromagnéticas. Assim, T é a temperatura absoluta da superfície, em Kelvin (K). A taxa as chamas transmitem radiação para as mãos da pessoa, mas de radiação emitida por uma superfície real é menor que aquela essas também transmitem radiação para as chamas. Como a emitida por um corpo negro à mesma temperatura, sendo dada por: temperatura das chamas é muito maior que a temperatura das

■

mãos, o fluxo de calor líquido por radiação térmica ocorre das $\varphi =$

εοAT_{4n} chamas para as mãos.



42 Coleção Estudo





Propagação de calor

O parâmetro ϵ é uma propriedade radiante da superfície, As placas e os tubos com água de um coletor solar são pintados

conhecida como emissividade. A faixa de variação da emissividade é de preto fosco porque, nesse caso, a absorção da radiação solar

$0 \leq \epsilon \leq 1$. Para um corpo negro, $\epsilon = 1$, e para os corpos reais, $\epsilon < 1$. é muito maior do que aquela que aconteceria caso os tubos não

A emissividade é uma propriedade da matéria que indica a eficiência com a qual uma superfície real emite radiação em comparação ao As propriedades radiantes também dependem da natureza

corpo negro. Por exemplo, uma superfície com $\epsilon = 0,85$ emite 85% da radiação, variando, portanto, com a frequência da onda

da energia que um corpo negro emitiria à mesma temperatura. eletromagnética. Uma superfície quente pode ser um ótimo

A emissividade depende do material da superfície, de seu emissor de radiação visível. Porém, a temperaturas menores,

acabamento e de sua temperatura. A emissividade aumenta com essa superfície pode passar a emitir radiação infravermelha com

a temperatura e diminui com o grau de polimento. Cobre oxidado à alta eficiência. O vidro e o dióxido de carbono apresentam elevada

temperatura de 1 000 K apresenta $\epsilon \approx 0,80$. Para o cobre altamente transmissividade à luz visível, mas baixa transmissividade e alta

polido e à temperatura de 1 000 K, $\epsilon \approx 0,05$. refletividade para a radiação infravermelha. Essa diferença de

comportamento explica um fenômeno conhecido como efeito

Você pode usar a Lei de Stefan-Boltzmann para estimar a

estufa, que será discutido no próximo tópico.

temperatura de uma superfície quente. Considere, por exemplo,

uma lâmpada incandescente de 100 W com um filamento de Para o mesmo tipo de onda eletromagnética, muitos corpos

tungstênio, cuja área da superfície é igual a $1,0 \times 10$

apresentam $\alpha = -4 \text{ m}^2$. ϵ (corpo cinza). Um caso muito comum ocorre Como existe um bom vácuo no bulbo da lâmpada, as trocas de quando uma pequena superfície à temperatura T é envolvida

calor por convecção e por condução são desprezíveis. Além disso, completamente por uma vizinhança isotérmica à temperatura T . viz

objetos em sua volta, de maneira que a radiação proveniente da por exemplo, com uma *pizza* dentro de um forno, as radiações emitidas pela superfície e por sua vizinhança são de mesma vizinhança é desprezível. Assim, a taxa de transferência líquida de a temperatura do fio lamento é muito maior que a temperatura dos Se as temperaturas T e T_{viz} não são muito diferentes, como ocorre, ^{sup viz}

natureza, e, assim, a superfície pode ser considerada um corpo emitida. Tratando o fio lamento como um emissor ideal (ϵ calor no fio lamento é praticamente igual à própria taxa de radiação cinza ($\alpha = \epsilon$) e a vizinhança, um corpo negro ($\epsilon = 1$). Nesse caso, $\epsilon = 1$),

a troca líquida de radiação na superfície é dada por: e substituindo os valores adequados na Lei de Stefan-Boltzmann, obtemos a temperatura de 2×10^3 K. Na verdade, como $\epsilon < 1$, a temperatura real do fio lamento é maior que o valor estimado. $q = \epsilon \sigma A (T_{\text{viz}}^4 - T_{\text{sup}}^4)$

(pequena *pizza* de área $1,0 \times 10 \text{ m}^2$ dentro de um forno, α), a refletividade (ρ) e a transmissividade (τ). A faixa de cujas paredes estão à temperatura de 187°C (460 K). valores dessas propriedades varia de zero a um, e elas indicam Se a *pizza*

estiver a 57°C (330 K), e a sua emissividade for de FÍSICA a porcentagem da radiação incidente que é absorvida, refletida 80%, então a taxa líquida de radiação que a *pizza* recebe vale: propriedades radiantes importantes, que são a absortividade Para exemplificar o uso dessa equação, considere uma –2 Além da emissividade, a matéria possui outras três

e transmitida por um corpo. Por isso, $\alpha + \rho + t = 1$. A figura 10 apresenta valores típicos para a absorção, a reflexão e a $\varphi = 0,80.5,7 \times 10^{-8}.1,0 \times 10^{-2}.$ $(460 - 330) = 15 \text{ W}$ transmissão de uma radiação incidente sobre uma placa de vidro.

Radiação incidente **BALANÇO DE ENERGIA E**

(100%) Radiação absorvida **EFEITOS CoMBINADOS** e transformada em energia interna (1%)

Radiação refletida A energia interna de um corpo é insensível às radiações

(30%) Radiação transmitida refletidas e transmitidas pelo

corpo. Contudo, a energia interna

(69%) tende a aumentar quando o corpo absorve radiação e a diminuir

Figura 10: Repartição da radiação incidente em uma placa de quando o corpo emite radiação. Obviamente, para a energia

vidro. interna de um corpo não variar, a quantidade de energia

recebida deve ser igual à energia cedida. Além da radiação

As propriedades radiantes de uma superfície dependem do emitida e absorvida, um corpo também pode trocar calor com

material de que ela é feita, de sua cor, de seu acabamento e até a vizinhança por meio da convecção e da condução térmica.

de sua temperatura. Em geral, os gases são transparentes a todas A seguir, discutiremos dois sistemas em que o equilíbrio térmico

as radiações ($\alpha = 0$ e $\rho + t = 1$). A transmissividade de alguns é o resultado do balanço de energia envolvendo dois ou três

sólidos depende do ângulo de incidência da radiação. Quando um modos de trocas de calor.

raio de luz visível incide perpendicularmente sobre uma placa de O primeiro sistema que vamos analisar é a estufa mostrada vidro, a radiação refl etida é pequena, e quase toda a radiação é na fi gura 11. O vidro é transparente à luz visível, de modo que a transmitida através da placa. Ao contrário, para uma incidência maior parte da radiação solar penetra na estufa e é absorvida pelo rasante, quase toda radiação é refl etida, e muito pouca radiação solo e pelas plantas. Aquecidos, esses corpos emitem radiação atravessa a placa. infravermelha. O vidro, que não é transparente a essa radiação,

Corpos escuros apresentam alta absortividade. Você absorve e refl ete a radiação, reforçando o aquecimento da estufa.

pode fazer uma experiência muito simples para confirmar Outra função do vidro é impedir que o ar morno se eleve,

isso. Usando uma lupa, concentre os raios solares sobre transportando

calor por convecção para o exterior. A estufa

uma folha de jornal. Você perceberá que, se a luz for atinge um estado de equilíbrio térmico quando a quantidade de

concentrada sobre as letras de uma manchete (em tinta energia solar absorvida pelo interior da estufa é igual à energia

negra), a folha se queimará muito mais rapidamente em liberada pelos vidros aquecidos através da emissão de radiação

comparação à incidência de luz sobre uma parte clara do jornal. infravermelha e da transferência de calor por convecção.

Editora Bernoulli 43

Frente B Módulo 02

Radiação EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO infravermelha (R iv)

01. (Mackenzie-SP) Numa noite de inverno, o dormitório de

Serginho apresentava uma temperatura ambiente de

Radiação 10°C . Para não sentir frio durante a madrugada, ele Convecção

visível (R_v) esticou sobre a cama três cobertores de lã bem espessos

e aguardou alguns minutos. Em seguida, deitou-se e

percebeu que a cama continuava muito fria. Após certo

tempo na cama, bem coberto, sentiu que o “frio passou”

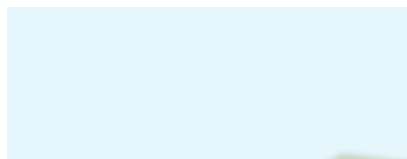
R_v transmitida e que a cama estava quente. Tal fato explica-se, pois

A) o frio não existe e a sensação de Serginho era apenas

psicológica

R_v emitida B) os cobertores não são aquecedores, mas isolantes

Figura 11: Mecanismos de aquecimento em uma estufa de vidro. aqueceu a cama. térmicos. Depois de Serginho deitar-se, seu corpo



O mecanismo de aquecimento da Terra é semelhante ao C) a cama provavelmente não tinha lençóis de lã e,



de uma estufa. Vapor de água, dióxido de carbono e metano então, o calor produzido pelos cobertores foi perdido



são os principais gases estufa na atmosfera. Devido às para o ambiente. Quando Serginho se deitou,



emissões industriais, a concentração de dióxido de carbono interrompeu esse processo. está aumentando, de forma que grande parte da radiação D) os cobertores de lã provavelmente eram de cor

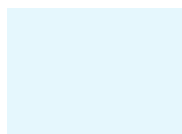
clara e,



infravermelha emitida pela superfície terrestre é absorvida e por isso, demoraram muito para aquecer a cama. Após



refletida pela atmosfera. Um novo estado de equilíbrio deverá Serginho ter-se deitado, foi necessário mais algum



ocorrer, mas com a temperatura do planeta podendo atingir um tempo para que a cama ficasse quente. valor muito alto, de forma a causar o derretimento de geleiras E) a lã utilizada para a confecção dos cobertores é



e a elevação do nível dos oceanos. um aquecedor natural muito lento e a temperatura

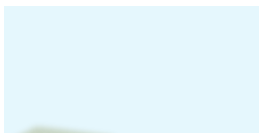


de Serginho, de aproximadamente 37 °C, não era



O outro exemplo que vamos analisar é a garrafa térmica

suficiente para aquecer a cama.



mostrada na figura 12. Nesse caso, o sistema não se acha



em equilíbrio térmico, pois o café quente da garrafa
sofre um **02.** (CEFET-MG-2007) As modernas panelas de aço
inox resfriamento lento. Uma garrafa térmica é um reservatório de



possuem cabos desse mesmo material, que é um ____



vidro duplo espelhado e com vácuo entre eles. O vácuo dentro



condutor de calor. Eles não queimam as mãos das



da garrafa, que não é perfeito, dificulta a transferência de

peças, porque possuem um formato vazado, facilitando

calor por condução e por convecção. A parede interna reflete

a troca de calor por ____ do ar através deles.

grande parte da radiação infravermelha emitida pelo café,

minimizando as perdas de energia. A parede externa reflete a A alternativa que completa, **Correta** e respectivamente,

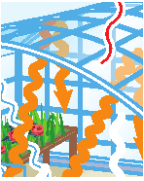
radiação emitida pela parede aquecida, por condução, pelo café. as lacunas é Por fim, a função da tampa é evitar que o ar sobre o café se A) mau / irradiação. C) bom / convecção.

eleve, transferindo calor por convecção. Sendo feita de um B) bom / irradiação. D) mau / convecção.

material isolante, a tampa também dificulta a transferência de **03**. (UFV-MG) Um resistor R é colocado dentro de um calor por condução.

recipiente de parede metálica, no qual é feito vácuo e que

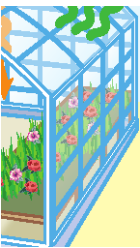
Tampa isolante Para ligar o resistor a uma fonte externa ao recipiente, possui um termômetro incrustado em sua parede externa.



foi utilizado um fio com isolamento térmico que impede



Vácuo transferência de calor para as paredes do recipiente.



Essa situação encontra-se ilustrada na figura a seguir.

Paredes espelhadas

rmômetro

Café quente Te



Vácuo Metal



Invólucro R

Figura 12: Mecanismos de transferência de calor em uma garrafa + – térmica. Ligando o resistor, nota-se que a temperatura indicada pelo



termômetro aumenta, mostrando que há transferência de

calor entre o resistor e o termômetro. Pode-se afirmar

PARA REFLETIR calor, na ordem **Correta**, são que os processos responsáveis por essa transferência de

Você enxerga um bolo assando através da janela de A) primeiro convecção e depois radiação.

vidro de um forno. Por que essa janela não diminui a B) primeiro convecção e depois condução. eficiência do forno, deixando vazar a radiação emitida C) primeiro radiação e depois convecção. pelas paredes aquecidas? D) primeiro radiação e depois condução.



E) primeiro condução e depois convecção.



44 Coleção Estudo





二

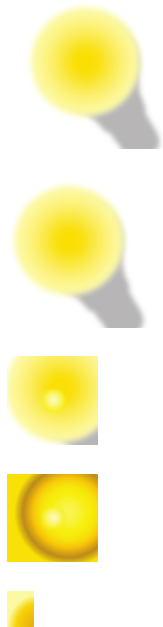
三

四

五

六





Propagação de calor

04. A) a lã é um excelente isolante térmico, impedindo que o (FUVEST-SP) A figura ilustra um sistema de aquecimento

contato com ela, um tubo metálico encurvado; um branca absorve toda a luz, evitando que ela aqueça ainda mais as pessoas. depósito de água D e tubos de borracha T ligando o solar: uma placa metálica P, pintada de preto, e, em calor externo chegue aos corpos das pessoas, e a cor

no depósito D, pela absorção de energia solar, é devido, ela contribui para resfriar um pouco os corpos das pessoas. basicamente, aos seguintes fenômenos, pela ordem: depósito ao tubo metálico. O aquecimento da água contida B) a lã é naturalmente quente e, num ambiente a 50 °C,

C) a lã é um excelente isolante térmico, impedindo

D que o calor externo chegue aos corpos das pessoas,
T aquecimento da própria lâ. e a cor branca reflete toda a luz,
diminuindo assim o
D) a lâ é naturalmente quente, e o branco é uma “cor
fria.” Esses fatos combinados contribuem para o
T resfriamento dos corpos daquelas pessoas. P

03. (UESC-BA-2007) Uma parede de concreto com 9,0 m²

A) condução, irradiação, convecção. de área e 10,0 cm de espessura
tem coeficiente de

B) irradiação, condução, convecção. condutibilidade térmica $K = 2,0 \times 10^{-3} \text{ cal}/(\text{s.cm.}^{\circ}\text{C})$.

C) convecção, condução, irradiação. Sabendo-se que, em um
determinado momento,

D) condução, convecção, irradiação. a diferença de temperatura
entre suas faces é de 5,0 °C, a quantidade de calor que flui, no regime
estacionário, E) irradiação, convecção, condução. através da parede
durante 10,0 minutos, em calorías, é

05. A) 5,4. D) 5 400. (UFPE-2006 / Adaptado) Deseja-se isolar
termicamente

uma sala, de modo que as paredes devem permitir uma B) 54. E) 54
000.

transmissão máxima de calor, por unidade de área, C) 540.

de 10 W/m². Sabendo-se que o interior da sala é mantido à

temperatura de 20 °C e o exterior atinge uma temperatura **04.**
(Mackenzie-SP) A figura I mostra uma barra metálica de

máxima de 35 °C, **CALCULE** a espessura mínima de lâ, em secção
transversal retangular. Suponha que 10 calorías

centímetros, que deve ser usada nas paredes. O coeficiente fluam

em regime estacionário através da barra, de um

Considere que as temperaturas nas faces da parede sejam θ_1 e θ_2 e que a condutividade térmica da parede seja k . Considere também que a barra é homogênea e que a área da seção transversal seja A . A barra é cortada ao meio no sentido transversal, e os dois pedaços

efetiva da parede seja igual à da parede original. $\theta_1 = 100^\circ\text{C}$

Figura I

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (UFTM-MG-2010) A respeito dos processos de transmissão de calor, considere: O tempo necessário para que 10 calorias fluam entre os

I. Na convecção, o calor é transferido de um lugar para outro tendo como agentes os próprios fluidos;

A) 4 minutos. D) 1 minuto.

II. Na condução, ocorre a transferência de energia

cinética entre as partículas; B) 3 minutos. E) 0,5 minuto.

III. Na irradiação, o calor é transmitido sob a forma de ondas eletromagnéticas.

05. (CEFET-MG) Analise as situações a seguir descritas,

É **CoRRETo** o contido em

considerando-se o processo de transferência de calor

A) I, apenas. relacionado a cada uma delas:

B) II, apenas. I. Um legume se aquece ao ser colocado dentro de uma

C) I e II, apenas. panela com água fervente.

D) II e III, apenas. I. O congelador, localizado na parte superior de uma

E) I, II e III. geladeira, resfria todo o interior da mesma.

III. Os componentes eletrônicos de aparelhos, em

02. funcionamento, de uma estação espacial, transmitem

(PUC Minas–2010) Ainda nos dias atuais, povos que vivem

calor para o espaço.

no deserto usam roupas de lã branca como parte de seu

As situações I, II e III correspondem, respectivamente,

vestuário para se protegerem do intenso calor, já que a

aos
processos
de

temperatura ambiente pode chegar a 50 °C durante o dia.

Para nós, brasileiros, que utilizamos a lã principalmente A) condução, convecção e condução.

no inverno, a atitude dos povos do deserto pode parecer B) convecção, radiação e convecção.

estranha ou equivocada, contudo ela pode ser explicada C) condução, convecção e radiação.

Frente B Módulo 02

06. (PUC-SP) Analise as afirmações referentes à condução **09.** (UFV-MG-2009) É comum termos sensações diferentes,

térmica: de quente e frio, quando tocamos com a mão objetos

I. Para que um pedaço de carne cozinhe mais em equilíbrio térmico entre si, dentro de uma sala. Em

rapidamente, pode-se introduzir nele um espeto relação à afirmativa anterior, é **CoRRETo** dizer que

metálico. Isso se justifica pelo fato de o metal ser A) é falsa, pois a quantidade de calor trocada entre cada

um bom condutor de calor. um dos objetos e a mão é diferente já que, nesse caso,

II. Os agasalhos de lã dificultam a perda de energia os objetos se encontram a temperaturas diferentes.

III. Devido à condução térmica, uma barra de metal (na forma de calor) do corpo humano para o B) é falsa, pois se um objeto parece mais quente em ambiente, devido ao fato de o ar aprisionado entre relação ao outro, então eles não estão em equilíbrio suas fibras ser um bom isolante térmico. térmico. C) é verdadeira, pois a quantidade de calor trocada entre mantém-se a uma temperatura inferior à de uma cada um dos objetos e a mão pode ser diferente se barra de madeira colocada no mesmo ambiente. os dois objetos tiverem condutividades térmicas Podemos afirmar que diferentes. A) I, II e III estão corretas. D) é verdadeira, pois a quantidade de calor trocada entre B) I, II e III estão erradas. cada um dos objetos e a mão é sempre igual se eles C) apenas I está correta. estiverem em equilíbrio térmico. D) apenas II

está correta.

E) apenas I e II estão corretas. **10.** (UFLA-MG) Numa sala de aula, à temperatura de 27°C

($T = 300\text{ K}$), estão acomodados 30 estudantes. Cada o

07. (UFMG) Em uma experiência, colocam-se gelo e água estudante apresenta a temperatura 37°C ($T = 310\text{ K}$) e

em um tubo de ensaio, sendo o gelo mantido no fundo possui uma área efetiva de irradiação de $1,5\text{ m}^2$. A lei de

por uma tela de metal. O tubo de ensaio é aquecido Stefan-Boltzmann trata do poder emissivo dos corpos e

conforme a figura. Embora a água ferva, o gelo não se diz que a potência líquida irradiada por estudante pode ser

funde imediatamente. As afirmações a seguir referem-se escrita por:
 $P = \epsilon \cdot A \cdot 4T^3 \cdot \Delta T$, em que ϵ é uma constante e T

a essa situação: de proporcionalidade igual a $6 \times 10^{-8}\text{ W/m}^2\text{K}^4$; A é a área

efetiva de irradiação em m^2 ; T , a temperatura absoluta da o sala e ΔT , a diferença entre a temperatura absoluta da sala

Tela e do estudante. Então, a potência líquida total irradiada pelos estudantes nessa sala é de, aproximadamente,



Gelo A) 2,9 kW.

B)
29
kW.

C)
0,1
kW.

D)
1,0
kW.

I. Um dos fatores que contribuem para que o gelo não E) 10 kW.

se funda é o de que a água quente é menos densa

que a água fria. **11.** (UNESP-SP-2008) Um corpo I é colocado dentro de uma

II. Um dos fatores que concorrem para a situação campânula de vidro transparente evacuada. Do lado

observada é o de que o vidro é bom isolante térmico. externo, em ambiente à pressão atmosférica, um corpo II

III. Um dos fatores que concorrem para que o gelo não é colocado próximo à campânula, mas não em contato

se funda é o de que a água é bom isolante térmico. com ela, como mostra a figura.

A) Apenas a afirmativa I é verdadeira.

■

B) Apenas a afirmativa II é verdadeira.

■

C) Apenas a afirmativa III é verdadeira.

■

D) Todas as afirmativas são corretas. I I I II

■

E) N.d.a.

■

08. (UFMT–2006) Após fazer um bolo, um cozinheiro coloca As temperaturas dos corpos são diferentes, e os pinos um cobertor sobre o bolo para que não esfrie. Do ponto de vista da Física, pode-se explicar a atitude do cozinheiro formas de transferência de calor entre esses corpos e da seguinte forma: aponte a alternativa **CoRRETA**. A) O cobertor tem a propriedade de aquecer os corpos A) Não há troca de calor entre os corpos I e II porque que estão por ele cobertos. não estão em contato entre si.

■

B) Há transmissão de calor do cobertor para o bolo, de B) Não há troca de calor entre os corpos I e II porque o forma a mantê-lo aquecido. ambiente no interior da campânula está evacuado.

■ ■

C) A temperatura é transmitida do cobertor para o bolo, C) Não há troca de calor entre os corpos I e II porque

■

mantendo-o aquecido. suas temperaturas são diferentes.

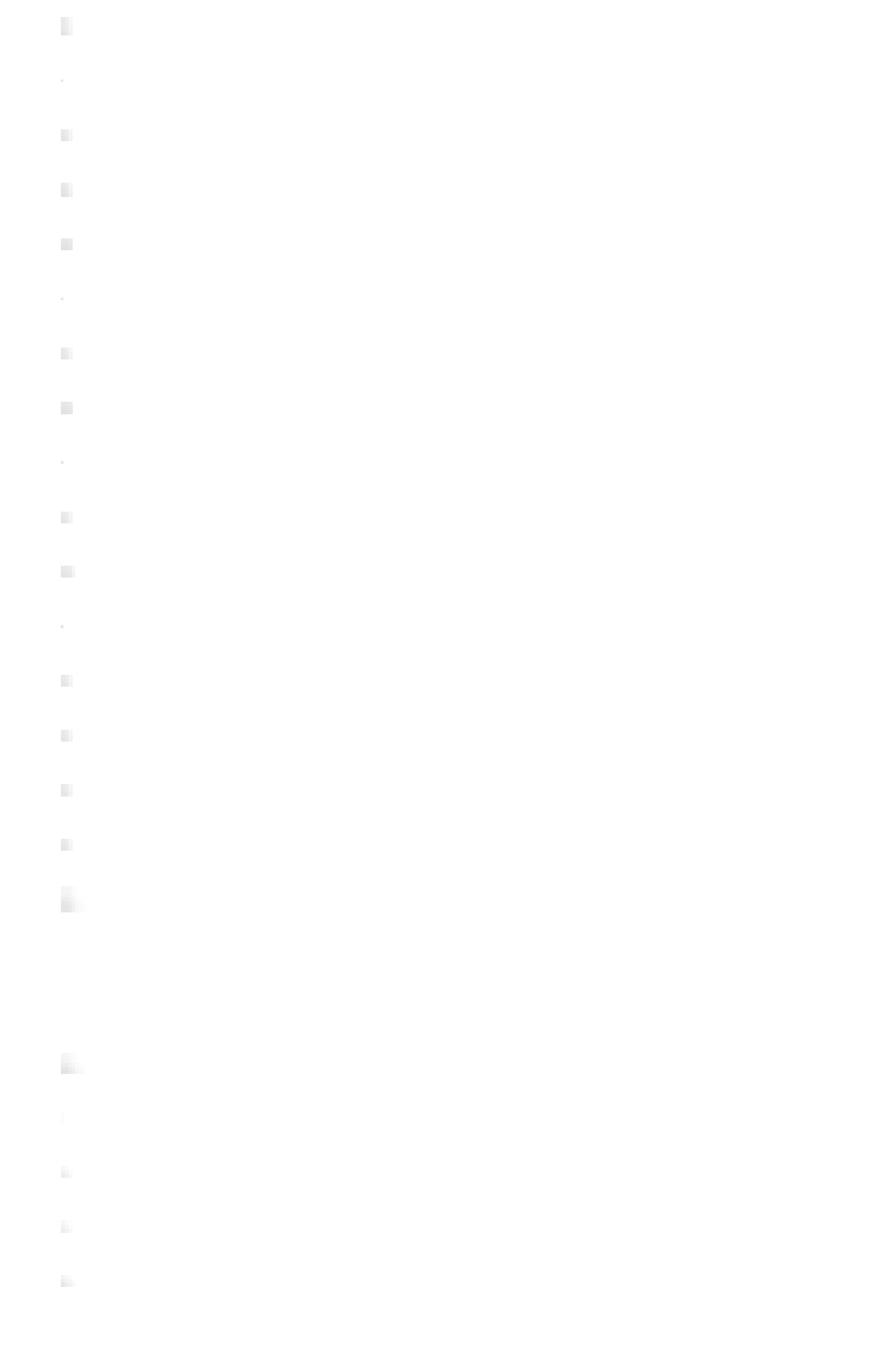
D) A forma predominante de transmissão, nesse caso, D) Há troca de calor entre os corpos I e II e a

é a irradiação de calor pelo cobertor. transferência se dá por convecção.

E) O cobertor dificulta a transmissão de calor do bolo ao E) Há troca de calor entre os corpos I e II e a transferência

meio ambiente. se dá por meio de radiação eletromagnética.

46 Coleção Estudo





Propagação de calor

12. (UFMG) Uma garrafa térmica, do tipo das usadas para

Seção ENEM

manter café quente, consiste em um recipiente de

01. (Enem–2007) O uso mais popular de energia solar está

vidro de parede dupla com vácuo entre as paredes.

Essas paredes são espelhadas. O vácuo e as paredes associado ao fornecimento de água quente para fi ns

domésticos. Na fi gura a seguir, é ilustrado um aquecedor

espelhadas são usados para diminuir a transmissão de
 de água constituído de dois tanques pretos dentro de uma
 calor, estando relacionados com uma ou mais formas de
 caixa termicamente isolada e com cobertura de vidro,
 transmissão.

os quais absorvem energia solar.

Vidraças duplas Água quente



Y



Paredes Água quente



espelhadas



Vácuo





Camada refletiva

Assinale a alternativa que relaciona **CoRRETAMENTE**

as características da garrafa térmica com as formas de Água fria

transmissão de calor que essas características tentam Nesse sistema de aquecimento,

impedir. A) os tanques, por serem de cor preta, são maus

A) Parede espelhada: condução absorvedores de calor e reduzem as perdas de

energia

Vácuo: radiação

B) a cobertura de vidro deixa passar a energia luminosa

B) Parede espelhada: condução e reduz a perda de energia térmica utilizada para o

Vácuo: radiação e convecção aquecimento.

C) Parede espelhada: radiação C) a água circula devido à variação de energia luminosa existente entre os pontos X e Y.

Vácuo: condução e convecção D) a camada refletiva tem como função armazenar

D) Parede espelhada: radiação energia luminosa. **FÍSICA**

Vácuo: radiação, condução e convecção E) o vidro, por ser bom condutor de calor, permite que

se mantenha constante a temperatura no interior da

13. caixa. (UFRN–2008) O efeito estufa, processo natural

de aquecimento da atmosfera, é essencial para a

02. (Enem-2008)

existência de vida na Terra. Em tal processo, uma

parcela da radiação solar refletida e da radiação solar refletida Radiação solar Energia irradiada pela superfície, incidente irradiada térmica emitida pela superfície terrestre interage para o espaço pela pelas nuvens 100% para o atmosfera com determinados gases presentes na atmosfera, e pelo ar espaço pela 64% 30% superfície aquecendo-a. O principal mecanismo físico responsável 6% I pelo aquecimento da atmosfera devido à ação do efeito

estufa resulta da Radiação solar Energia absorvida Radiação Energia carregada diretamente A) absorção, por certos gases da atmosfera, de parte da absorvida carregada para pela atmosfera pela água e para cima cima na radiação ultravioleta recebida pela Terra. 20% pelo CO pela formação de 2 na atmosfera atmosfera convecção vapor-d'água II B) refl exão, por certos gases da atmosfera, da radiação 14% 6% 24%

visível emitida pela Terra.

III IV V

C) absorção, por certos gases da atmosfera, de parte da

radiação infravermelha proveniente da superfície da superfície 50% 50% Terra.

D) refl exão, por certos gases da atmosfera, de parte da Com base no diagrama anterior, conclui-se que

radiação de micro-ondas recebida pela Terra. A) a maior parte da radiação incidente sobre o planeta

fi ca retida na atmosfera.

14. (FUVEST-SP) Sabe-se que a temperatura do café se B) a quantidade de energia refl etida pelo ar, pelas nuvens

mantém razoavelmente constante no interior de uma e pelo solo é

superior à absorvida pela superfície.

garrafa térmica perfeitamente vedada. C) a atmosfera absorve 70% da radiação solar incidente

sobre a Terra.

A) Qual é o principal fenômeno responsável por esse

bom isolamento térmico? diretamente pelo solo é devolvida para a atmosfera. D) mais da metade da radiação solar que é absorvida

B) O que acontece com a temperatura do café se E) a quantidade de radiação emitida para o espaço pela

a garrafa térmica for agitada vigorosamente? atmosfera é menor que a irradiada para o espaço pela

JUSTIFIQUE sua resposta. superfície.

Editora Bernoulli 47

Frente B Módulo 02

03. Como a água leva mais tempo para esquentar (de dia), (Enem) O resultado da conversão direta de energia

solar é uma das várias formas de energia alternativa mas também leva mais tempo para esfriar (à noite),

de que se dispõe. O aquecimento solar é obtido por o fenômeno noturno (brisa terrestre) pode ser explicado

uma placa escura coberta por vidro, pela qual passa um da seguinte maneira:

tubo contendo água. A água circula conforme mostra o A) O ar que está sobre a água se aquece mais; ao subir,

esquema a seguir. deixa uma área de baixa pressão, causando um

deslocamento de ar do continente para o mar.

Reservatório B) O ar mais quente desce e se desloca do continente de água quente para a água, a qual não conseguiu reter calor durante

o
dia.

C) O ar que está sobre o mar se esfria e dissolve-se na água; forma-se, assim, um centro de baixa pressão,

Coletor que atrai o ar quente do continente.

Radiação Reservatório

solar de água fria D) O ar que está sobre a água se esfria, criando um

Água quente centro de alta pressão que atrai massas de ar

Vidro

Placa escura para o consumo continental.

E) O ar sobre o solo, mais quente, é deslocado para o

PALZ, Wolfgang. *Energia solar e fontes alternativas*. Hemus, mar, equilibrando a baixa temperatura do ar que está

sobre
o
mar.

1981 (Adaptação).

São feitas as seguintes afirmações quanto aos materiais utilizados no aquecedor solar:

I. O reservatório de água quente deve ser metálico para GABARITo

conduzir melhor o calor.

II. A cobertura de vidro tem como função reter melhor Fixação o calor, de forma semelhante ao que ocorre em uma

estufa.

III. A placa utilizada é escura para absorver melhor a 01. B 02. C 03. D 04. B 05. 6 cm

energia radiante do Sol, aquecendo a água com maior Propostos eficiência.

Entre as afirmações anteriores, pode-se dizer que apenas está(ão) correta(s) 01. E

A) I. D) I e III. 02. C

B) I e II. E) II e III. 03. E

C) II. 04. E

04. 05. C (Enem) Numa área de praia, a brisa marítima é uma consequência da diferença no tempo de aquecimento do 06. E solo e da água, apesar de ambos estarem submetidos 07. D às mesmas condições de irradiação solar. No local (solo)

08.
E

que se aquece mais rapidamente, o ar fica mais quente e

sobe, deixando uma área de baixa pressão, provocando o 09. C

deslocamento do ar da superfície que está mais fria (mar). 10. A

11.

E

12.

C

13.

C

Menor pressão Brisa marítima 14. A) O espelhamento duplo das paredes dificulta a

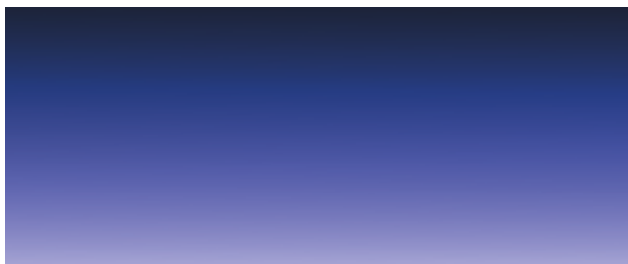
transferência de calor por radiação; o vácuo

Maior entre as paredes dificulta a transferência de temperatura Menor temperatura calor por condução e convecção; a tampa

À noite, ocorre um processo inverso ao que se verifica inibe a transferência de calor por convecção e

durante o dia. dificulta a condução de calor.

B) A energia interna e a temperatura do café



aumentam. O café não recebe calor de fora,
mas sim trabalho realizado pela pessoa.

Brisa Seção Enem terrestre

01. B 02. D 03. E 04. A



48 Coleção Estudo Física MÓDULO FRENTE

Fundamentos da óptica 01 C

geométrica

Os cinco sentidos do ser humano permitem que ele perceba o mundo à sua volta. De todos os sentidos, a visão é o que fornece o maior número de informações e é aquele que permite ao homem o maior aprendizado do mundo que o cerca.

A Óptica é a parte da Física que explica, entre outras coisas, a visão que temos dos objetos e / ou de suas imagens, seja por observação direta ou através de um instrumento. Isso é motivo suficiente para estudar esse conteúdo fascinante que é a Óptica.

A Óptica pode ser dividida, por questões didáticas, em SXC SXC

dois grandes ramos: a Óptica geométrica e a Óptica física. 2. Quanto à dimensão, a fonte de luz pode ser: Aqui, vamos tratar da Óptica geométrica, que é a parte da Física que estuda determinados fenômenos luminosos sem a **PoNTUAL**: se o seu tamanho for desprezível, quando

necessidade de se conhecer a natureza física da luz. Por ora, comparado à distância de observação. vamos considerar que a luz é uma onda que se propaga

ExTEnSA: se o seu tamanho não for desprezível, pelo espaço, transmitindo energia luminosa de um ponto

se comparado à distância de observação. a outro, e que é capaz de sensibilizar os nossos órgãos de

visão. Em nosso estudo da Óptica, não é importante saber OBSERVAÇÃO como a luz é produzida e nem como ela se desloca através

dos meios de propagação. Na verdade, toda fonte de luz é extensa. Assim, se

ela ilumina um objeto que se encontra muito distante dela, a fonte de luz pode ser considerada uma fonte

CoNCEIToS INICIAIS pontual.

3. Quanto à cor de luz emitida, a fonte é classificada

Fontes de luz MoNoCRoMÁTICA: aquela que emite luz de uma só cor (uma radiação de frequência única).

Fonte de luz é todo objeto capaz de emitir luz ao espaço

que o circunda. Podemos classificar as fontes luminosas **PoLICRoMÁTICA:** aquela que emite luzes de

com base em diversos critérios, conforme está apresentado diversas cores (várias radiações de diferentes

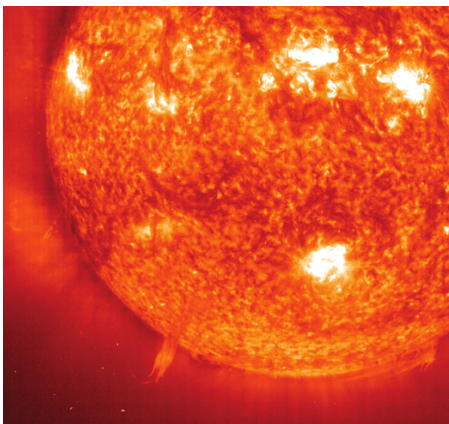
a seguir. frequências).

1. Considere uma lâmpada de vapor de sódio emitindo. Quanto à natureza, a fonte luminosa pode ser: luz amarela, conforme mostrado na figura (a) a seguir.

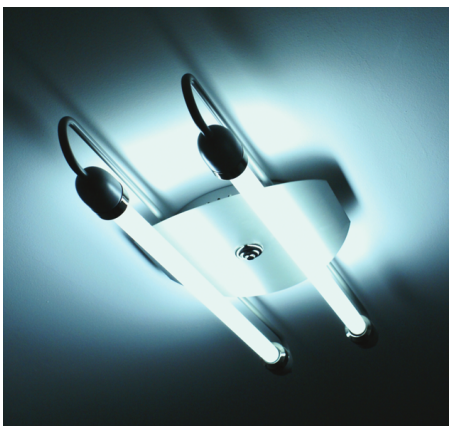
PRIMÁRIA: aquela que emite luz própria (Sol, Se tomarmos uma pequena porção dessa luz, entre as linhas

lâmpada acesa, vaga-lume, etc.). pontilhadas, por exemplo, temos o chamado **feixe de luz**.

Se imaginarmos tal feixe infinitamente estreito, temos um



raio de luz (ou raio luminoso). Dessa forma, podemos



considerar que a luz que sai da lâmpada é formada
por



uma infinidade de raios luminosos emitidos pela fonte,
em



todas as direções em torno dela. Veja a figura (b) a
seguir.



www.nasa.gov SXC

SECUNDÁRIA: aquela que emite, por reflexão,
a luz

recebida de fontes primárias (Lua, planetas,
parede, (a) (a) (b) folha de papel, etc.).



Frente C Módulo 01

O feixe de luz, dependendo da posição entre os raios
2. **TRANSLÚCIDO:** é o meio no qual uma parte da luz
luminosos, pode ser classificado como feixe

convergente, se propaga, porém de forma irregular. A luminosidade

paralelo ou divergente, respectivamente, como mostrado passa através dele, mas a imagem formada não

a seguir. apresenta nitidez. O vidro canelado, plásticos leitosos

e água suja são alguns exemplos.

o que nós realmente vemos?

É importante, para começar, que você saiba que só é possível enxergar um objeto e / ou a sua imagem se a luz

emitida por estes chegar aos olhos do observador.

O objeto (ou a sua imagem) é visto, sempre, na **direção**

do raio de luz que chega aos olhos do observador. A figura

a seguir, fora de escala, mostra um observador (O) mirando _{sxc} uma estrela (E) no céu. Observe o trajeto da luz que sai da 3. **oPACo**: é o meio que não se deixa atravessar pela estrela e vai ao observador (EPO). luz e, dessa forma, não se pode enxergar através

dele. Como exemplos, temos o corpo humano, uma

I parede, os metais, entre

muitos outros.

E OBSERVAÇÃO

P Vácuo A. Dependendo da espessura a ser atravessada
pela

Atmosfera luz, um meio transparente pode se tornar
translúcido

o ou mesmo opaco. É o caso, por exemplo, da
água

cristalina. Uma lagoa profunda, mesmo de águas



claras, não nos permite ver o fundo.

B. Materiais opacos à luz visível podem ser
translúcidos

ou mesmo transparentes para outras radiações.

Como o raio de luz chega ao observador na direção
IPO, este Cita-se, por exemplo, o corpo humano, que
é

verá a imagem da estrela na posição I (chamada de
posição relativamente transparente para os raios X. Da
aparente) e não na posição real E, onde se encontra a
estrela. mesma forma, materiais transparentes para a
luz

É importante ressaltar que nenhum animal pode **ver**
a visível podem ser opacos a outras radiações. O

vidro

luz. Nós enxergamos, apenas, os objetos que enviam a comum, por exemplo, é transparente à luz visível,

luz que chega aos nossos olhos. No vácuo, fora da nossa mas é opaco ao infravermelho e ao ultravioleta.

atmosfera, por exemplo, a luz emitida por todas as estrelas

corta o espaço sideral em todas as direções. Estando

em **Princípios de propagação da luz**

uma dessas regiões, um astronauta que olhar ao seu redor

poderá ver o Sol, as estrelas, a Lua, os planetas, etc., mas Nos meios de propagação que sejam transparentes,

o restante do espaço é totalmente escuro (embora uma isotrópicos e homogêneos, podemos usar importantes

infinitude de raios de luz esteja cruzando aquela região). princípios de propagação da luz, a saber:

Tipos de meios de propagação 1.

PROPAÇÃO RETILÍNEA: a luz se propaga,

a partir da fonte, em linha reta. Isso quer dizer que

a energia transmitida por um raio luminoso viaja em

Chamamos de meio de propagação qualquer região do movimento retilíneo através do meio.

espaço na qual a luz se propaga. Aqui, vamos classificar os

meios apenas para a luz visível. Assim, um meio pode ser: **2. INDEPENDÊNCIA Dos RAIOS:** dois ou mais raios

ou feixes de luz se propagam independentemente da

1. TRANSPARENTE: é o meio no qual a luz se propaga existência de outro(s) na mesma região e no mesmo

de forma regular, permitindo que se possa enxergar, instante. Havendo cruzamento entre eles, cada um

de forma nítida, através dele. O ar, o vidro liso e segue o seu caminho sem tomar conhecimento da

a água cristalina, em pequenas quantidades, são existência do(s) outro(s). Veja a seguir. exemplos de meios transparentes.





50 Coleção Estudo

Fundamentos da óptica geométrica

3. **REVERSIBILIDADE:** a trajetória seguida pela luz

1. **REFLEção:** corresponde à parte do feixe luminoso

entre dois pontos quaisquer é exatamente a mesma que retorna ao meio de origem após atingir a

indo do primeiro ponto ao segundo ou voltando superfície de separação, mantendo o mesmo módulo

do segundo ponto ao primeiro. Veja o exemplo a da velocidade de propagação.

seguir. Considere duas pessoas (O_1 e O_2) se olhando
2. **REFRAção:** corresponde à parte do feixe luminoso através de um espelho (E). O observador 2 recebe a

que passa para a outra substância (muda o meio luz emitida pelo observador 1, segundo a trajetória amarela. O observador 1 recebe a luz emitida de propagação), alterando a sua velocidade de pelo observador 2, conforme a trajetória azul. Tais propagação.

caminhos são idênticos (eles foram ligeiramente 3. **ABSORÇÃO:** corresponde à parcela da radiação que deslocados, na figura a seguir, para que você possa é absorvida pela superfície que separa os dois meios distinguir um do outro). (fica retida na superfície) e que geralmente faz a

substância aquecer.

E

O_1 O_2 I_0



60% I_0

10% I_0

IMPORTANTE: conforme a informação anterior, se você enxerga uma pessoa através de um espelho plano devidamente colocado, a outra pessoa, com certeza, o estará vendo se olhar para o

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Uma árvore, em determinado horário, projeta no chão uma intensidade I . Considere que a energia que atinge a superfície tenha **SICA**

uma sombra de 3,0 m de comprimento. Você, que tem origem (o ar), apresenta intensidade $60\%I$, por exemplo. **FÍ**. A parte refletida, que volta ao meio de

1,8 m de altura, mede a sua sombra, no mesmo instante, Considere que a parcela refratada, que penetra na água,

e encontra 0,60 m. Determinar a altura da árvore. tenha intensidade $30\%I$. Observe que, “nessa conta”,

Resolução: faltam 10% de I . Essa parcela é absorvida pela superfície.

A solução do exercício usa o princípio da propagação na incidência. Nesse caso, portanto, os três fenômenos

retilínea da luz. Veja a figura a seguir. **acontecem simultaneamente.**

A quantidade de energia refletida, refratada e absorvida



depende de uma série de fatores, entre eles a natureza



dos meios envolvidos e o ângulo de incidência da
radiação.

^H As radiações do espectro visível

^h

A luz branca emitida pelo Sol é policromática e é



formada pela combinação de **infinitas** radiações de

γ x frequências diferentes. O nosso sistema visual
identifica cada

frequência diferente como sendo uma luz de cor
distinta.

Usando semelhança nos triângulos destacados, temos: O espectro
visível é composto, portanto, de uma infinidade

de cores que vão do vermelho ao violeta. No espectro
da luz

H visível, podemos considerar sete cores básicas:
vermelho, γ H 3 0 , = $\therefore$ = $\therefore$ = H 9 0 , m
alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.
As radiações $h \times 18,060$, foram apresentadas
na ordem crescente de frequências.

Veja o
espectro
a
seguir.

Alguns fenômenos ópticos

Vermelho Violeta

Quando uma onda luminosa atinge um objeto,
alguns

fenômenos ópticos podem ocorrer. Considere, por
exemplo,

a luz que se propaga no ar e chega à superfície da água de

um aquário. Veja a figura a seguir. Ela mostra a ocorrência

simultânea de três fenômenos:

Editora Bernoulli 51

Frente C Módulo 01

A mistura de todas as cores do espectro visível (radiações Assim, a cor de um objeto, percebida por um

de luz) nos fornece o branco. Faça a experiência a seguir, observador, não é uma característica intrínseca do

bastante ilustrativa, para comprovar que a mistura das cores objeto. A cor depende da estrutura do material e,

básicas fornece a cor branca. Pegue um disco de papelão principalmente, da luz que incide sobre ele. Cada objeto,

e pinte setores com as cores básicas, conforme mostrado em geral, tem a capacidade de absorver, de refletir e de

a seguir. transmitir (refratar) algumas das radiações que chegam

a ele. Assim, enxergamos o objeto na cor da luz que ele

reflete
ou
transmite.

Cores obtidas pela reflexão da luz

Veja a seguir um objeto branco sendo iluminado por luz

rotação, e observe. Uma vez que a nossa retina “guarda” Coloque o disco a girar em torno do centro, em alta branca e por luz azul. No primeiro caso, o objeto reflete todas as radiações e o observador enxerga o objeto branco. No segundo caso, o objeto, embora branco, reflete apenas uma informação por uma fração de segundo, todas as o azul (única radiação que chegou a ele) e, portanto, será cores vão se sobrepôr sobre a retina. O resultado disso é visto na cor azul. a sensação de que o disco é branco. Observe que estamos

falando na mistura de radiações luminosas e não mistura

cores sobre uma folha de papel, por exemplo, é claro que o branco branco Luz br Luz azul de tintas (“pigmentos”). Se você misturar tintas de todas as Objeto Objeto anca resultado não será o branco.

Para se obter o branco, não é necessário, entretanto,

chamadas de **cores aditivas primárias**, que, quando Luz branca adicionar todas as cores. Existem algumas radiações, Luz azul somadas, nos fornecem o branco. Um trio primário, muito

usado, é o chamado RGB, empregado no sistema de colorização do nosso sistema de televisão, e é formado Considere a seguir um objeto azul sendo iluminado por luz

pelas cores vermelho (R), verde (G) e azul (B). A mistura branca e por luz azul. Na primeira situação, o objeto, sendo

dessas três radiações nos fornece o branco. Veja, na figura azul, reflete apenas o azul. Na segunda, ele também reflete

a seguir, que a mistura de apenas duas delas nos fornece só o azul (única radiação que incide). Assim, nos dois casos,

uma cor diferente. Observe que a adição de vermelho com ele será visto na cor azul. azul fornece o magenta. A soma de azul com verde resulta

em ciano. A mistura de verde com vermelho produz o Objeto Objeto anca amarelo. Veja, agora, a região central. Ela apresenta a cor azul azul branca pela adição das três cores primárias. Dependendo da Luz br Luz azul parcela de cada uma delas, podemos obter todas as outras

cores do espectro.

Luz Luz azul azul



E os objetos que são vistos como sendo pretos? Isso
pode



ocorrer em duas situações. Se o corpo é preto, ele será
visto



nessa cor independentemente da radiação que chega a
ele,



uma vez que o corpo absorve toda a radiação que nele
incide



(e nada
reflete).
Veja a
seguir.

Luz branca Luz
verde
Objeto Objeto
preto azul

SXC

As cores dos objetos



A cor de um objeto é uma sensação que o nosso
sistema



visual tem quando recebe a luz daquele corpo. Assim,
Outra situação possível acontece quando um objeto
a sensação de cor é pessoal, subjetiva e,
possivelmente, colorido é iluminado por radiação de
cor diferente da dele.

pessoas diferentes percebem o mesmo objeto, nas mesmas. Veja na figura anterior. Um corpo azul é iluminado por luz

circunstâncias, em cores distintas. Mas, embora possamos ver verde. Sendo azul, ele só reflete luz azul. Como não chegou

perceber cores diferentes, damos a cada uma delas o mesmo nome azul (apenas verde), ele nada reflete e, portanto, será

nomeado, pois aprendemos que assim são chamadas. visto como sendo preto.

52 Coleção Estudo

Fundamentos da óptica geométrica

Você sabe que existem objetos cujas cores não se

APLICAÇÕES

encontram no espectro da luz visível (marrom e cinza, por

exemplo). Eles são percebidos naquelas cores, pois refletem **Câmara escura** duas ou mais radiações, cuja adição nos fornece a referida cor (inexistente no espectro).

Considere uma caixa fechada, com um pequeno orifício

numa das paredes e com uma folha de papel de seda, papel



manteiga ou papel heliográfico – todos brancos e translúcidos



PARA REFLETIR secundária) estiver à frente do orifício, ela envia luz para – na parede oposta. Se uma fonte de luz (seja primária ou



atmosfera terrestre? Qual é a cor do Sol, quando visto de fora da o interior da caixa, através do orifício, e uma imagem será formada na folha da parede oposta. O seu

funcionamento está baseado no princípio da propagação retilínea da luz.



Veja a seguir.



Cores obtidas pela transmissão da luz



Considere um objeto transparente, porém colorido,



chamado de filtro colorido. Um bom exemplo é uma folha de x y

papel celofane. Ao ser iluminada, parte da radiação atravessa Considere uma árvore à frente do orifício. Veja a figura

por ela. Um observador, que recebe essa luz transmitida, terá anterior. O observador que olhar através do papel verá uma

a sensação de cor do objeto conforme mostrado na figura imagem da árvore, projetada sobre a folha, que é invertida,

seguinte. Considere um celofane azul. tanto vertical quanto horizontalmente, como consequência

da propagação retilínea dos raios de luz. Se conhecemos a

Luz branca Luz azul altura da imagem (h), a distância da árvore ao orifício (Y)

e o comprimento da caixa (X), por semelhança dos triângulos

destacados, podemos calcular a altura (H) da árvore, ou seja: **SICA**



$H \cdot Y = F \cdot I$

=

$h \cdot X$

Objeto Formação de
sombras e azul

penumbra

Na maioria das situações do cotidiano, a luz se

Luz verde

em linha reta. Uma consequência importante,
relacionada



a esse comportamento, refere-se à formação de
sombras e



penumbras em um anteparo.



Objeto



azul

Sendo azul, o filtro só se deixa atravessar pela radiação azul. Se iluminado por luz branca, apenas o azul o

atravessa e chega aos olhos do observador do outro lado. ^{xc xc ss} Tal observador verá o celofane azul. Se ele for iluminado por

radiação de quaisquer outras cores, exceto o azul, todas elas Considere uma fonte **pontual** colocada a certa distância

serão absorvidas ou refletidas pelo celofane. Dessa forma, de uma parede. Considere ainda uma esfera opaca entre

nenhuma radiação atravessa a folha e o observador do outro a parede e a fonte, conforme mostra a figura a seguir.

lado enxerga o celofane como sendo preto. Você já deve ter Dos raios provenientes da fonte, alguns passam ao redor

visto holofotes (ou *spots*) iluminando festas ou *shows*. A luz da esfera, atingindo a parede e iluminando-a. Os outros

branca de uma lâmpada sai pelo filtro apenas na radiação são interceptados pela esfera e não atingem a parede.

correspondente à cor do filtro colocado à sua frente. A

região da parede que receberia tais raios, caso a esfera não estivesse ali, é chamada de **sombra**. Essa região é

Dessa forma, se dois filtros de cores diferentes (presentes escura porque não recebe nenhuma luz proveniente da

no espectro) são justapostos e iluminados por luz branca, fonte. Alguém que se colocasse na sombra (ou mesmo no

nenhuma radiação os atravessa e, vistos pelo outro lado, **cone de sombra** indicado na figura) não poderia enxergar

eles vão se mostrar negros. a fonte de luz.

Editora Bernoulli 53

Frente C Módulo 01

Sombra

Cone de sombra



Fonte

pontual



Sol

α

Esfera

opaca

iluminada Região $\alpha =$
(inclinação do plano da órbita lunar)
 $= 5^{\circ} 8' 43''$

Anteparo

Para facilitar o raciocínio, considere um observador,
fora

Considere a mesma situação anterior, exceto pelo
fato de da Terra, olhando o sistema Terra-Lua, pelo
Polo Sul da

que a fonte agora é **extensa**, conforme representado
na Terra (PS). A figura a seguir mostra a trajetória da
Lua,

figura a seguir. Nesse caso, além da formação de
sombra, conforme vista por tal observador, em oito
momentos

percebemos um anel semiescuro em volta da sombra,

que de seu movimento em torno da Terra. Observe que os

vai clareando à medida que se afasta do centro dela. Essa movimentos de translação da Lua e de rotação da Terra

região é chamada de **penumbra**. Observe que os contornos estão no sentido horário para tal observador. Na figura,

da sombra e da penumbra não são bem definidos. Traçando o deslocamento da Terra em torno do Sol é pequeno e foi

alguns raios provenientes da fonte, será fácil perceber que desprezado. a penumbra é iluminada pela fonte apenas parcialmente.

Veja que os raios provenientes da parte de baixo da fonte Crescente

atingem e iluminam predominantemente a porção inferior da Luz Solar penumbra. Analogamente, os raios provenientes da parte de

cima da fonte atingem predominantemente a parte superior ³ da penumbra. ^{2 4}

A

Penumbra Luz Solar Chei



va **PS 1 5 a**



Sombra Sombra No Luz Solar

B

8 6



Fonte7



extensa Luz Solar



Esfera Esfera Minguante opaca opaca



Um habitante, no Hemisfério Sul da Terra, olhando



Região Região para o céu à noite, nas posições indicadas anteriormente



iluminada (de 1 a 8), veria a Lua como mostrado a seguir.

—

Anteparo



A Lua vista do hemisfério Sul da Terra

Se um observador se colocar na parte de baixo da 1 2
3 4 5 6 7 8

■
penumbra, verá apenas a porção inferior da fonte, e quem

■
estiver na parte de cima da penumbra vai enxergar apenas a

■
porção superior da fonte. Uma pessoa que estiver na região

■
iluminada enxergará toda a fonte (ainda que a esfera esteja Nova Quarto Cheia Quarto à sua frente). Crescente Minguante



Fases da Lua Crescente Minguante



As fases da Lua estão relacionadas com a posição

desta em Volte à penúltima figura e observe os pontos A e B

relação ao Sol e à Terra. As posições da Lua em torno da Terra colocados na Terra. A noite está começando para um

estão mostradas a seguir (figura fora de escala). O plano de observador no ponto A. Olhando para o céu, nesse horário,

órbita da Lua não coincide com o plano de rotação da Terra, ele poderá ver, dependendo do dia do mês e da estação do

sendo inclinado em relação a esse de, aproximadamente, 5° . ano, de Lua Nova até Lua Cheia (particularmente, a Lua

Observe que a parte da Lua voltada para o Sol é uma região Crescente), mas jamais verá a Lua Minguante (esta estará

iluminada. Dessa forma, um observador na Terra, olhando do outro lado da Terra, nesse horário). Ao

contrário, para o

para a Lua, poderá ver, dependendo da posição desta, partes observador no ponto B, está começando o dia. Ele poderá

iluminadas e regiões escuras. Essas diferentes distribuições de ver de Lua Cheia até Lua Nova (particularmente, a Lua

luminosidade são o que determinam as chamadas fases da Lua. Minguante), mas nunca verá, nesse horário, a Lua Crescente.









.



.

















Fundamentos da óptica geométrica

A posição 2 das figuras anteriores mostra a Lua Crescente. Veja que, na parte esquerda da figura, a Lua Cheia está no

vista por um observador no Hemisfério Sul. Estando nesse cone de sombra da Terra. Assim, a Lua Cheia deixa de ser vista

hemisfério, ele vê a Lua “por baixo” (ele se encontra abaixo da Terra (eclipse total da Lua). Quando a Lua Cheia passa

do plano de órbita da Lua). Considere um observador na pela região de penumbra da Terra (não mostrada na figura),

região do Equador (ele se encontra próximo ao plano de temos um eclipse parcial, uma vez que parte da Lua

órbita da Lua) e um outro que se localiza no Hemisfério Norte continua visível o tempo todo. Na parte direita da figura,

(que vê a Lua “por cima” – encontra-se acima do plano de o cone de sombra da Lua se projeta sobre a Terra. Assim,

órbita desta). As figuras a seguir mostram a mesma Lua os observadores colocados na região de sombra projetada

Crescente, no mesmo dia e horário, vistas em posições pela Lua (círculo preto) não poderão ver o Sol (eclipse total

diferentes da Terra. do Sol). Para os observadores da Terra, colocados na região

de penumbra da Lua (em torno do círculo preto),
ocorre um

Lua Crescente vista do eclipse parcial do Sol (não indicado na figura). Nesse mesmo

instante, para os habitantes que se encontram na
região

iluminada da Terra (não mostrada na figura), não
ocorre

o eclipse. Assim, o eclipse do Sol, quando acontece,
será

visível apenas em pequenas regiões da Terra. Veja a
seguir

fotografias dos eclipses do Sol e da Lua.



Hemisfério Plano do Hemisfério

Sul Equador Norte

Assim, dependendo da localização do observador na Terra,



a inclinação da Lua Crescente varia de um extremo a outro



da figura anterior. Para a Lua Minguante, vale o mesmo



raciocínio.

XC XC

Eclipses do Sol e da Lua_{ss}

Os eclipses são raros de ocorrer, principalmente do Sol,

pois os planos de órbita da Terra e da Lua não coincidem

pelo caminho, formam regiões de sombras e de penumbras existe uma posição em que a Lua está mais distante da Terra. Fí na outra. O eclipse é um fenômeno celeste envolvendo, pelo Se nessa posição é Lua Nova e os três astros estão alinhados, menos, **dois astros** e um observador. Nesse fenômeno, um vão para a Terra e para a Lua, ao encontrarem uma delas estão alinhados. A distância Terra-Lua é variável e,

assim, **SICA** Como o Sol é uma fonte extensa, os raios luminosos que (defasados de 5°). Dessa forma, poucas vezes os três astros

pode ocorrer um eclipse solar mais raro ainda.
Observe a

dos astros deixa de ser visível, total (quando o observador figura a seguir, fora de escala, que caracteriza a situação

se coloca no cone de sombra gerado pelo outro astro) ou indicada. Veja que a Terra está, na região de penumbra da

parcialmente (quando o observador se localiza na região Lua, fora do cone de sombra e além do seu vértice. de penumbra gerada pelo outro astro). Assim, um eclipse

está relacionado à propagação retilínea da luz e, para aqueles que mais nos interessam, à geometria do sistema

Sol-Terra-Lua. Para que exista um eclipse, visto da Terra,

é necessário que o Sol, a Terra e a Lua estejam alinhados. Sol

se coloca entre o Sol e a Terra. O eclipse da Lua acontece na Lua O eclipse do Sol ocorre durante o dia de Lua Nova, pois esta noite de Lua Cheia, uma vez que a Terra se encontra entre Nova Terra

o Sol e Lua. A ilustração a seguir, fora de escala,

mostra os habitantes que se encontram, nesse momento, no círculo

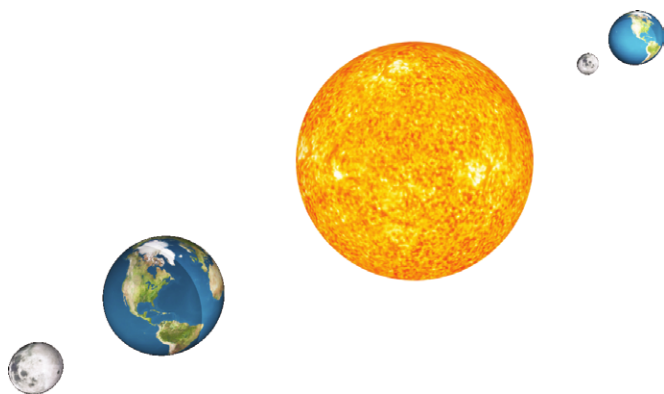
eclipses lunar e solar. negro recebem apenas a luz dos bordos do Sol. Assim, a parte

central do Sol está obstruída pela Lua (eclipse solar),
mas um

Órbita anel luminoso será visto em torno da Lua
(eclipse anular).

da Lua A visão desse eclipse está mostrada na foto
seguinte. Um

eclipse como esse ocorreu em 15 de janeiro de 2010.



Órbita Terra Lua



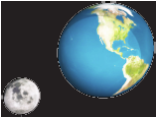
da Lua Nova **Sol**



Órbita

da Terra

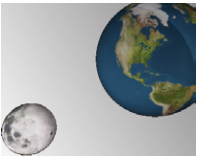
Terra



Lua L



Cheia

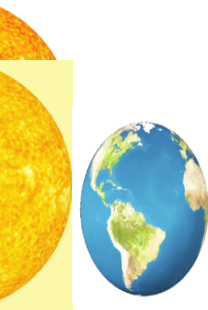


XC

S



Editora Bernoulli 55





Frente C Módulo 01

olhando para o passado EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

grande, porém finita. O seu valor aproximado é de $3,0 \times 10^8$ m/s, a velocidade da luz, tanto no ar como no vácuo, é muito **01**. (UFMG) Marília e Dirceu estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. (300 000 km/s). Isso quer dizer que ela gasta um tempo

Assinale a alternativa em que estão **CoRRETAMENTE**

não nulo para percorrer determinada distância. A distância representada pelos feixes de luz que permitem a Dirceu

Terra-Sol é, em média, de $1,5 \times 10^{11}$ m. Assim, a luz do Sol ver Marília. gasta, aproximadamente, 500 s (cerca de 8 minutos) para

chegar à Terra. Nós enxergamos um objeto quando a

luz A) A A A) C)

emitida por ele chega ao nosso sistema visual. Como a luz do

Sol gasta 8 minutos para chegar à Terra, nós o vemos como

ele era, no instante em que emitiu a luz. Ou seja, vemos,

em cada momento, um Sol de 8 minutos atrás.

Marília Dirceu Marília Dirceu

Com o objetivo de facilitar o entendimento de uma medição, as unidades devem estar de acordo com a grandeza B) D)

a ser medida. Quando queremos medir a espessura de uma folha de papel, usamos o milímetro; para medir a altura de uma pessoa, preferimos o metro; para estimar

distâncias entre cidades, é usual o quilômetro. Estrelas estão

muito distantes da Terra. Para determinar tais distâncias, Marília Dirceu Marília Dirceu

preferimos uma unidade chamada **ano-luz**. Ela se refere à **02.** (UEMA) Se o Sol “apagasse”, ou seja, se sua luz deixasse distância percorrida pela luz em um ano. Assim, ano-luz é

de ser emitida, após uma hora de ocorrência desse fato,

uma unidade de distância (D), e não de tempo (t). um sobrevivente, olhando o céu sem nuvens, veria

A)
somente
a
Lua.



B)
as
estrelas.



$D = 1 \text{ ano-luz} = \text{distância percorrida pela luz em 1 ano}$

C) a Lua e o Sol apagados.

D) uma completa escuridão.

Um ano (365 dias de 24 h cada) apresenta: E) a Lua e as estrelas.



$t = (1.365.24.60.60) = 31\,536\,000$ segundos **03.**

(EFOA-MG) Em uma situação, ilustrada na figura 1, uma

lâmpada e um observador têm, entre si, uma lâmina de vidro

$t = 3,2 \times 10^7$ s colorida. Em outra situação, ilustrada na figura 2, ambos,



a lâmpada e o observador, encontram-se à frente de uma



Como a velocidade da luz no espaço é constante, podemos



calcular a distância percorrida pela luz em um ano da lâmpada emissora de luz branca, em ambas as situações o lâmina de plástico colorida, lisa e opaca. Mesmo sendo a



seguinte maneira: observador enxerga as lâminas como sendo de cor verde.



$$D = v \cdot t = 3,0 \times 10^8 \cdot 3,2 \times 10^7 = 9,6 \times 10^{15} \text{ m Lâmpada}$$

$$D = 1 \text{ ano-luz} = 9,6 \times 10^{15} \text{ m}$$



é a Alfa, da constelação de Centauro. A sua distância à Terra A segunda estrela mais próxima da Terra, visível a olho nu, Lâmpada Observador Vidro Plástico Observador é de 4,3 anos-luz. Isso quer dizer que recebemos a luz que

Figura 1 Figura 2

saiu de Alfa e, portanto, a enxergamos como ela **era** há Pode-se, então, afirmar que, predominantemente,

4,3 anos. Temos estrelas a centenas, milhões, bilhões

A) o vidro reflete a luz de cor verde, absorvendo as

de anos-luz da Terra. Nós as vemos como elas eram no outras cores, e o plástico transmite a luz de cor verde,

momento em que elas emitiram a luz. Muitas das estrelas absorvendo as outras cores.

que estão no nosso céu já “morreram” há muito tempo. Como B) o vidro absorve a luz de cor verde, transmitindo as

a luz enviada por elas ainda está a caminho da Terra, nós outras cores, e o plástico absorve a luz de cor verde,

ainda as enxergamos. Várias das novas estrelas, surgidas refletindo as outras cores.



no Universo, jamais serão vistas em nossa vida, uma vez C) o vidro transmite a luz de cor verde, absorvendo as

que a luz emitida por elas ainda não chegou a nós e nem outras cores, e o plástico absorve a luz de cor verde,

chegará até nossos dias finalmente refletindo as outras cores.



D) o vidro absorve a luz de cor verde, transmitindo as



Dessa forma, quando você olha para o céu, você está



enxergando o passado. Um passado “plural”, pois está vendo absorvendo as outras cores. outras cores, e o plástico reflete a luz de cor verde, cada estrela como ela era há dezenas, milhares, bilhões de



E) o vidro transmite a luz de cor verde, absorvendo as



anos atrás! Agora, me responda: a Óptica não é um assunto



muito fascinante? absorvendo as outras cores. outras cores, e o plástico reflete a luz de cor verde,











Fundamentos da óptica geométrica

04. A) luz, sombra e sombra. (UFF-RJ) Para determinar a que altura H uma fonte de

luz pontual está do chão, plano e horizontal, foi realizada B) luz, penumbra e sombra.

a seguinte experiência. Colocou-se um lápis de 0,10 m, C) luz, penumbra e penumbra.

perpendicularmente sobre o chão, em duas posições D) penumbra, sombra e sombra.

distintas: primeiro em P e depois em Q. A posição P está

E) penumbra, penumbra e penumbra.

exatamente na vertical que passa pela fonte e, nessa

posição, não há formação de sombra do lápis, conforme

ilustra esquematicamente a figura. Na posição Q, **02.** (UNESP-SP-2010) Um professor de Física propôs aos

a sombra do lápis tem comprimento 49 (quarenta e nove) seus alunos que idealizassem uma experiência relativa ao

vezes menor que a distância entre P e Q. A altura H é, fenômeno luminoso. Pediu para que eles se imaginassem

aproximadamente, igual a numa sala completamente escura, sem qualquer material

em suspensão no ar e cujas paredes foram pintadas com

uma tinta preta ideal, capaz de absorver toda a luz que

incidissem sobre ela. Em uma das paredes da sala, os

H

alunos deveriam imaginar uma fonte de luz emitindo um

único raio de luz branca que incidisse obliquamente em

um extenso espelho plano ideal, capaz de refletir toda

P Q a luz nele incidente, fixado na parede oposta àquela na

A) 0,49 m. qual o estudante estaria encostado (observe a figura). C) 5,0 m. E) 3,0 m.

B) 1,5 m. Se tal experiência pudesse ser realizada nas condições D) 1,0 m.

ideais propostas pelo professor, o estudante dentro da sala

05. (Unifor-CE) O esquema representa o alinhamento do Sol, da Espelho

Terra e da Lua no momento de um eclipse. Nesse instante, uma pessoa situada no ponto A observará um eclipse

Terra Sol Sol Sol So So Raio de luz



Lua Lua



A Fonte de luz SICA

Olho do estudante Fí

A) parcial da Lua. D) parcial do Sol.



B) total da Lua. E) total do Sol.



A) enxergaria somente o raio de luz.

C) anular do Sol.

B) enxergaria somente a fonte de luz.

C) não enxergaria nem o espelho, nem o raio de luz.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

D) enxergaria somente o espelho em toda sua extensão. E) enxergaria o espelho em toda sua extensão e também

01. (FGV-SP-2010) O vendedor de churros havia escolhido um o raio de luz.

local muito próximo a um poste de iluminação. Pendurado

no interior do carrinho, um lampião aceso

melhorava **03.** (FCMMG) Filomena está curiosa para saber a altura de um

as condições de iluminação. Admitindo que o centro de rapaz que está em pé, esperando o ônibus. Observa que

todos os elementos da figura, exceto as finas colunas o Sol das 10 h da manhã forma uma sombra do rapaz,

que suportam o telhado do carrinho, estão no mesmo a qual ocupa 5 lajotas quadradas de 20 cm de lado. Ela sabe

plano vertical, considerando apenas as luzes emitidas que, nesse dia, o Sol nasceu às 6 h e ao meio-dia estará

diretamente do poste e do lampião e tratando-os como a pino. Filomena determinou que a altura do rapaz é de

os extremos de uma única fonte extensa de luz, a base A) 1,5 m.

do poste, a lixeira e o banquinho, nessa ordem, estariam B) 1,6 m.

inseridos em regiões classificáveis como

C)
1,7
m.

D)
1,8
m.

04. (FMTM-MG) O princípio da reversibilidade da luz fica bem

exemplificado quando

A) holofotes iluminam os atores em um teatro.

B) se observa um eclipse lunar.

C) um feixe de luz passa pela janela entreaberta.

D) a luz polarizada atinge o filme fotográfico.

E) duas pessoas se entreolham por meio de um espelho.

Editora Bernoulli 57

Frente C Módulo 01

05. (UFRN-2010) A coloração das folhas das plantas é **08.** (UFPB)
As folhas de uma árvore, quando iluminadas pela

determinada, principalmente, pelas clorofilas a e b – luz do Sol, mostram-se verdes porque

nelas presentes –, que são dois dos principais pigmentos A) refletem difusamente a luz verde do espectro solar.

responsáveis pela absorção da luz necessária para a B) absorvem somente a luz verde do espectro solar.

realização da fotossíntese. O gráfico a seguir mostra o C) refletem difusamente todas as cores do espectro solar,

espectro conjunto de absorção das clorofilas a e b em exceto o verde.

função do comprimento de onda da radiação solar visível. D) difratam unicamente a luz verde do espectro solar.

100 Azul E) a visão humana é mais sensível a essa cor.

) Violeta 80 **09.** (Unimontes-MG) Um objeto é iluminado com luz
branca, Vermelho

60 dentro de uma vitrine, cujo vidro é um filtro de luz que só

40 deixa passar a luz de cor vermelha. Para que esse objeto

Absorção (% 20 Verde seja visível através da vitrine, sua cor pode ser

o A) apenas branca.

400 500 600 700 B) apenas vermelha.

Comprimento de onda (nm)

C) qualquer uma, menos vermelha ou branca.

Com base nessas informações, é **CoRRETo** afirmar D) vermelha ou branca.

que, para realizar a fotossíntese, as clorofilas absorvem,

predominantemente, **10.** (UFU-MG–2010) Ao olhar para um objeto (que não é

uma fonte luminosa), em um ambiente iluminado pela

A) o violeta, o azul e o vermelho, e refletem o verde.

luz branca, e constatar que ele apresenta a cor amarela,

B) o verde, e refletem o violeta, o azul e o vermelho. é **CoRRETo** afirmar que

C) o azul, o verde e o vermelho, e refletem o violeta. A) o objeto absorve a radiação cujo comprimento de

D) o violeta, e refletem o verde, o vermelho e o azul. onda corresponde ao amarelo.

B) o objeto refrata a radiação cujo comprimento de onda

06. (UEPB) Durante o Maior São João do Mundo, realizado na corresponde ao amarelo.

cidade de Campina Grande, um estudante de Física, ao C) o objeto difrata a radiação cujo comprimento de onda

assistir a um *show*, decidiu observar o comportamento corresponde ao amarelo.

dos feixes de luz emitidos por três canhões, os quais D) o objeto reflete a radiação cujo comprimento de onda

emitiam luz nas seguintes cores: canhão A – luz azul; corresponde ao amarelo.

canhão B – luz verde; canhão C – luz vermelha, como

mostra a figura a seguir. Considerando que os três feixes **11**. (FUVEST-SP-2010) Astrônomos observaram que a

de luz têm a mesma intensidade e se cruzam na posição 4, a nossa galáxia, a Via Láctea, está a $2,5 \times 10$ anos-luz

as cores vistas pelo estudante nas regiões iluminadas de Andrômeda, a galáxia mais próxima da nossa. Com

1, 2 e 3 do palco e na posição 4 são, respectivamente, base nessa informação, estudantes em uma sala de aula

afirmaram
o
seguinte:

1 I. A distância entre a Via Láctea e Andrômeda é de A A A

2,5
milhões
de
km.

2 4 4 B B II. A distância entre a Via Láctea e Andrômeda é maior

que
2

3 c III. A luz proveniente de Andrômeda leva 2,5 milhões de

anos para chegar à Via Láctea.

A) vermelha, verde, azul e branca. 7 Dados: 1 ano tem aproximadamente 3×10^8 s;

B) branca, azul, verde e vermelha. 5 velocidade da luz = 3×10^8 km/s

C) amarela, vermelha, verde e azul. Está **CORRETO** apenas o que se afirma em

D) vermelha, verde, azul e preta.

A) I. C) III. E) II e III.

E) branca, branca, branca e branca.

B) II. D) I e III.

07. (UFMG) Um feixe de luz do Sol é decomposto ao passar

por um prisma de vidro. O feixe de luz visível resultante **12.**
(UFTM-MG-2010) Para medir distâncias utilizando-se das

propriedades geométricas da luz, um estudante providencia



é composto de ondas com



uma caixa cúbica, de aresta 16 cm. Após pintar o interior



A) apenas sete frequências, que correspondem às cores com tinta
preta, faz um orifício no centro de uma das faces



vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e e
substitui a face oposta ao orifício por uma folha de papel



violeta. vegetal. Feito isso, aponta o orifício para uma porta iluminada,



B) apenas três frequências, que correspondem às cores obtendo dela uma imagem nítida, invertida e reduzida,



vermelha, amarela e azul. projetada sobre a folha de papel vegetal. Sabendo-se que a



C) apenas três frequências, que correspondem às cores altura da imagem observada da porta é 14 cm e que a altura



vermelha, verde e azul. da porta é 2,15 m, conclui-se que a distância aproximada,



D) uma infinidade de frequências, que correspondem a em metros, entre o orifício da caixa e a porta é

cores desde a vermelha até a violeta. A) 0,9. B) 1,8. C) 2,5. D) 3,5. E) 4,8.



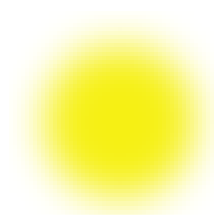


Fundamentos da óptica geométrica

13. Com base no texto e na figura, analise as afirmativas (Fatec-SP)
Mediante uma câmara escura de orifício, obtém-se

uma imagem do Sol, conforme o esquema a seguir: a seguir:

I. Para um observador em P, a paralaxe da Lua é maior



que a paralaxe de Júpiter.



D d II. Quanto mais próximo estiver um observador do lugar verdadeiro, maior a paralaxe do planeta observado.

a b III. A paralaxe do Sol é menor para um observador em Q

Dados: distância do Sol à Terra $a = 1,5 \times 10^8$ m; distância do observador em P, $b = 1,0$ m; diâmetro da imagem IV. Para um

observador em P, quanto maior o afastamento

$d = 9,0$ mm. de um planeta em relação à Terra, menor será sua

Podemos concluir que o valor aproximado para o paralaxe.

diâmetro D do Sol é Assinale a alternativa **CoRRETA**.

A) $1,7 \times 10^{10}$ m. C) $1,7 \times 10^7$ m. E) N.d.a.

B) $1,4 \times 10^8$ m. D) $1,4 \times 10^{12}$ m.

9 A) Somente as afirmativas I e II são corretas.

B) Somente as afirmativas I e III são corretas.

14. (UFMT) Considere dois observadores, um na Terra e outro C) Somente as afirmativas II e IV são corretas.

no planeta Marte. O observador na Terra vê, à meia-noite,

o planeta Marte no ponto mais alto no céu, sobre sua cabeça. D) Somente as afirmativas I, III e IV são corretas.

À meia-noite, no planeta Marte, o observador de lá E) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

A) vê a Terra no ponto mais alto sobre sua cabeça.

B) não vê a Terra.

C) vê a Terra entre Vênus e Júpiter. **SEção ENEM**

D) vê a Terra em conjunção com Mercúrio e o Sol.

E) verifica que a luz do Sol refletida pela Terra é

imperceptível devido à grande distância. **01.** (Enem–2009) Sabe-se que o olho humano não consegue

diferenciar componentes de cores e vê apenas a cor **SICA**

15. resultante, diferentemente do ouvido, que consegue (UEL-PR)

Durante um eclipse solar, um observador, **Fí**

A) no cone de sombra, vê um eclipse parcial. distinguir, por exemplo, dois instrumentos diferentes

tocados simultaneamente. Os raios luminosos do espectro

B) na região da penumbra, vê um eclipse total.

visível, que têm comprimento de onda entre 380 nm

C) na região plenamente iluminada, vê a Lua eclipsada.

e 780 nm, incidem na córnea, passam pelo cristalino

D) na região plenamente iluminada, não vê o eclipse solar. e são projetados na retina. Na retina, encontram-se

16. (UEL-PR–2010) *Dois são os lugares do planeta no* que convertem a cor e a intensidade da luz recebida dois tipos de fotorreceptores, os cones e os bastonetes,

firmamento, o aparente e o verdadeiro. O aparente é em impulsos nervosos. Os cones distinguem as cores

determinado pela linha reta traçada do olho do observador primárias: vermelho, verde e azul, e os bastonetes

ao centro do planeta observado e o verdadeiro é aquele diferenciam apenas níveis de intensidade, sem separar

marcado pela linha reta lançada do centro da terra ao

comprimentos de onda. Os impulsos nervosos produzidos

centro do planeta observado. A paralaxe não é outra são enviados ao cérebro por meio do nervo óptico, para

coisa que aquele espaço no céu (ângulo α) que está

que se dê a percepção da imagem.

compreendido entre as duas linhas, a do lugar aparente

e a do lugar verdadeiro. Um indivíduo que, por alguma deficiência, não consegue

captar as informações transmitidas pelos cones,

CARTA de Galileu Galilei a Francisco Ingoli. São Paulo:
Scientiae

perceberá um objeto branco, iluminado apenas por luz

Studio. v. 3, n. 3. p. 481-482. 2005 (Adaptação).

vermelha
como

O texto refere-se à intenção de Galileu de provar que o

Sol estava no centro do universo. Por meio desse texto, A) um objeto indefinido, pois as células que captam a

Galileu explica a Francisco Ingoli o que é a paralaxe. luz estão inativas.

Observe a figura a seguir: B) um objeto rosa, pois haverá mistura da luz vermelha

com o branco do objeto.

P C) um objeto verde, pois o olho não consegue diferenciar

Q componentes de cores.

α D) um objeto cinza, pois os bastonetes captam

luminosidade, porém não diferenciam cor.

E) um objeto vermelho, pois a retina capta a luz refletida pelo objeto, transformando-a em vermelho.

Editora Bernoulli 59

Frente C Módulo 01

02. (Enem–2006) No Brasil, verifica-se que a Lua, quando está

GABARITO

na fase Cheia, nasce por volta das 18 horas e se põe por volta das 6 horas. Na fase Nova, ocorre o inverso: a Lua

nasce às 6 horas e se põe às 18 horas, aproximadamente. Fixação

Nas fases Crescente e Minguante, ela nasce e se põe

em horários intermediários. Sendo assim, a Lua na fase ilustrada na figura a seguir poderá ser observada no ponto

01.
A

mais alto de sua trajetória no céu por volta de

A) meia-noite. 02. B



- B) três horas da madrugada.
- C) nove horas da manhã. 03. E
- D) meio-dia.
- E) seis horas da tarde. 04. C

03. 05. E (Enem–2002) Um grupo de pescadores pretende passar um final de semana do mês de setembro, embarcado, pescando

em um rio. Uma das exigências do grupo é que, no final de

Propostos

semana a ser escolhido, as noites estejam iluminadas pela Lua o maior tempo possível. A figura representa as fases da Lua no período proposto. Considerando-se as características 01. A de cada uma das fases da Lua e o comportamento desta no período delimitado, pode-se afirmar que, dentre os 02. C fins de semana, o que melhor atenderia às exigências dos pescadores corresponde aos dias 03. C

04.
E

24 de setembro

05.

A

02 de outubro 17 de setembro

06.

A

07.

D

10 de setembro

08.

A

A) 08 e 09 de setembro. 09. D

B) 15 e 16 de setembro.

C) 22 e 23 de setembro. 10. D

D) 29 e 30 de setembro.

E) 06 e 07 de outubro. 11. E

04. 12. C (Enem–2001)

SEU oLhAR

Gilberto Gil, 1984 13. B

Na eternidade

14.

B

Eu quisera ter

Tantos anos-luz 15. D Quantos fosse precisar

Pra cruzar o túnel 16. D

Do tempo do seu olhar

Seção

Enem

anos-luz. O sentido prático, em geral, não é obrigatoriamente o mesmo que na ciência. Na Física, 01. D um ano-luz é uma medida que relaciona a velocidade da luz e o tempo de um ano e que, portanto, se refere à(ao) 02. E

A) tempo.

B) aceleração. 03. D

C) distância.

D) velocidade. 04. C

E) luminosidade.

60 Coleção Estudo Física MÓDULO FRENTE

Reflexão da luz e espelhos 02 C

planos

REFLEXÃO DA LUZ Leis da Reflexão:

- 1ª Lei: $\mathbf{R}$, $\mathbf{N}$ e $\mathbf{R}$ são coplanares (estão sempre $\perp \mathbf{R}$

A reflexão é o fenômeno luminoso pelo qual a luz, contidos no mesmo plano).

após atingir uma superfície, continua no mesmo meio de

- 2ª Lei: Os ângulos de incidência e de reflexão são

propagação inicial. A reflexão é um fenômeno físico muito sempre congruentes ($i = r$). presente em nosso cotidiano e é responsável pela visão que temos dos objetos que nos cercam, tanto no que se Quando a luz incide sobre uma superfície, ela pode

refere à sua forma como também à sua cor. Conforme visto ser refletida de duas maneiras diferentes, conforme

anteriormente, enxergamos os objetos, fontes secundárias representado a seguir. Na primeira figura, a reflexão é

de luz, pela luz que eles refletem. Além disso, a utilização chamada de **especular** (ou regular) e ocorre em superfícies

dos espelhos só é possível devido à reflexão. A figura a polidas, como um espelho ou uma lâmina de água parada.

seguir mostra a luz de uma lanterna que sofre reflexão ao Na outra figura, a reflexão é **difusa** (ou irregular) e acontece

atingir um espelho. Observe, com atenção, que a parte **de** quando a luz atinge superfícies rugosas, tais como uma

trás do espelho é a superfície refletora (a parte da frente parede, uma folha de caderno ou o rosto de uma pessoa.

é um vidro transparente). Neste estudo, vamos considerar, Esse tipo de reflexão permite que você possa enxergar e ler

exceto quando for especificado o contrário, que os nossos o texto impresso nas páginas deste livro de qualquer posição

espelhos têm espessura desprezível. Assim, a reflexão vai que olhar, pois a luz refletida pelas páginas difunde-se

ocorrer na face que recebe a luz. (espalha) em todas as direções.

Reflexão especular Reflexão difusa

ou regular ou irregular

Na figura anterior, à esquerda, você percebe claramente



que as duas Leis da Reflexão são obedecidas. Agora, pense

e responda: as duas Leis da Reflexão valem na reflexão

A reflexão sofrida pela luz é regida por duas leis, chamadas difusa (figura da direita)?

Leis da Reflexão. Considere um raio luminoso que chega

à superfície refletora, chamado de raio incidente (R).

No ponto de incidência, traçamos uma reta

imaginária, **ESPELHO PLANO** perpendicular à superfície, chamada de reta normal (N).

O raio que continua no meio inicial de propagação, após

ser refletido na superfície, é chamado de raio refletido (R). Neste estudo, vamos trabalhar apenas com objetos **reais**,_R

Considere que i seja o ângulo entre o raio incidente e a que são corpos que não são formados por prolongamentos

normal à superfície (ângulo de incidência). Seja r o ângulo dos raios de luz (refletidos ou refratados). Assim,

entre o raio refletido e a normal (ângulo de reflexão). Veja inicialmente, serão aqueles corpos colocados à **frente** dos

a figura a seguir. dispositivos ópticos. Um espelho plano é uma superfície

plana e polida que reflete a luz de forma regular. Na
figura

Raio Reta Raio a seguir, representamos um objeto pontual
o à frente de

incidente normal refletido

um espelho plano vertical. Nela, estão representados
dois

R raios de luz que partiram do objeto e incidiram no
espelho. N i R R

Os raios refletidos pelo espelho foram traçados
levando-se

ir em conta as Leis da Reflexão. Os raios refletidos pelo espelho não se cruzam e, portanto, são divergentes. Assim, devemos traçar o que chamamos de prolongamento do raio

Superfície refletora refletido, um segmento de reta na direção do raio refletido

e no sentido oposto a ele.

Editora Bernoulli 61

Frente C Módulo 02

Observe, na figura anterior, que o objeto O , mesmo 3

estando em uma região “fora do espelho”, teve sua

R imagem I formada sobre a linha de simetria e à
mesma ₃

R distância do espelho que o objeto O . Assim, todo
objeto

3

R colocado na parte anterior de um espelho plano tem
sua _R

imagem formada por este. Se o objeto for extenso,
cada

ponto dele terá uma imagem formada sobre a linha de
simetria e à mesma distância do espelho que o ponto
objeto.

I Veja, a seguir, a imagem de um boneco
formada por um O

Espelho espelho colocado na vertical. O boneco carrega
uma caixa

plano quadrada (vermelha) e outra triangular (verde)
nas mãos

Observe que os prolongamentos dos raios refletidos
(traços direita e esquerda, respectivamente. Sejam **h**
e **h** as _{o1}

pontilhados) se encontram no ponto I, atrás do
espelho. alturas e **L** e **L** as larguras do boneco e da sua

imagem. o_i

Vamos colocar o boneco de duas maneiras: primeiro,
paralelo

Esse ponto corresponde à imagem do objeto, formada
pelo

ao espelho e, depois, perpendicular a este.

espelho. Um observador, diante do espelho, enxerga
essa

imagem porque seus olhos recebem os raios de luz
como

se estes estivessem saindo da imagem **I**. Toda imagem
Imagem Objeto de um objeto real formada por
prolongamentos de raios

refletidos é chamada de imagem **virtual**. Uma
imagem $H_I H_O$ desse tipo não pode ser projetada em
uma tela, pois ela não tem existência física real
(nenhuma luz chega, de fato,

onde está a imagem). A figura a seguir mostra um dos
raios

de luz refletidos pelo espelho. Os triângulos
destacados $L L_I E_O$

(OPQ e IPQ) são congruentes, e as suas bases são
iguais

(IP = OP). Veja que a linha azul (OPI) é
perpendicular Imagem Objeto ao espelho – linha de
simetria. Em todo espelho plano,

o objeto e a sua imagem estão sobre a **linha de simetria**.

Dessa forma, não é necessário desenhar os raios incidentes

e refletidos para localizar a imagem.

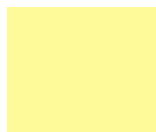
E

Espelho

Observe que as linhas de simetria nos permitem determinar

Q R as imagens de cada ponto do objeto, à mesma distância_R

que cada um deles se encontra do espelho. Assim, podemos

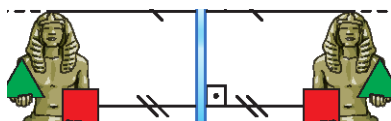


concluir que em todo espelho plano, colocado na **vertical**,

1. as dimensões do objeto e da imagem são iguais e



$H = H$ e $L = L$ independentes das distâncias $(H = H$ e $L = L)$.



OIO



2. a direção vertical da imagem e do objeto não sofre



inversão – a imagem formada é **DIRETA** (boneco e



Assim, podemos destacar três fatos importantes a respeito imagem de cabeça para cima).

da imagem formada pelo espelho plano:

3. a imagem é simétrica, em relação ao objeto, nas

1. A imagem é sempre virtual. direções horizontais (inversão lateral direito-esquerda e inversão de profundidade).

2. O objeto e a imagem estão sobre uma linha perpendicular ao espelho (linha de simetria).

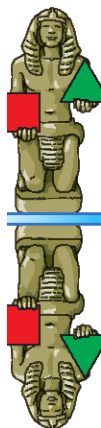
Se o espelho estiver na **horizontal** ou **inclinado**, as duas

3. A distância do objeto ao espelho (D) é igual à últimas conclusões não se aplicam. Assim, quando for o caso, o

distância da imagem ao espelho (D). convém você determinar a imagem (usando a simetria) e

analisar cada caso. Veja as figuras a seguir.

Veja a seguir a posição das imagens (I) de alguns objetos (O) colocados à frente de um espelho plano (E).





$O_2 E$

E

E



I_2



$I I_{13}$

62 Coleção Estudo

Reflexão da luz e espelhos planos

Campo visual do espelho plano Para $\theta = 90^\circ$, temos 3 imagens ($360/90 - 1 = 3$). Elas estão representadas na figura a seguir. Observe que as

Outro ponto importante diz respeito ao campo visual imagens e o objeto estão numa circunferência cujo centro

do espelho plano, que é definido como a região onde um coincide com o ponto comum entre os espelhos.

Veja,

observador deve se posicionar para poder enxergar a ainda, que as imagens I e I são coincidentes e, portanto, ^{3 4} imagem de um objeto O . Esse campo pode ser encontrado enxergamos apenas uma delas. traçando-se os raios incidentes, originados do objeto,

e os respectivos raios refletidos nas duas extremidades do E_1 espelho, conforme ilustrado na figura a seguir. A região **azul**, compreendida entre o espelho (E) e os dois raios I_1 O

refletidos (R), representa o campo visual do espelho R para o objeto O da figura. De qualquer lugar dessa região,

o observador pode ver a imagem do objeto. Estando fora 90° dela, o observador não verá a imagem, embora esta continue

a existir na mesma posição de simetria. Para facilitar o E E_2 ² traçado dos raios refletidos, convém desenhar a imagem (I),

na linha de simetria, e traçar um seguimento de reta ^{Ate} passando pela imagem e pelas extremidades do espelho. _{de}

$I I_2 = I_3$ 4 Editoria

$O R R$

Veja, a seguir, uma foto das imagens formadas pelos
espelhos.

Em algumas situações, o observador está fixo, enquanto

queremos saber a região onde um ou mais objetos devem **FÍSICA**

ser colocados para que o observador possa enxergar as suas imagens. A determinação dessa região é feita de forma

semelhante ao caso anterior. Traçamos dois raios de luz

incidentes e dois raios de luz refletidos, tendo como base as

extremidades do espelho e o observador (ao invés do objeto). *Imagens formadas em espelhos conjugados.* Ou seja, determinamos a “imagem do observador” por simetria.

A região entre o espelho e os raios refletidos corresponderá ao

local onde qualquer objeto deverá ser colocado para que a sua **Translação e rotação de objetos** e imagem possa ser vista por aquele observador fixo.

Associação de espelhos planos

Considere um objeto colocado a uma distância D de

Quando dois espelhos planos, E_1 e E_2 , são postos frente a frente, um espelho plano (E). Se o

objeto for deslocando de uma

a frente, segundo um ângulo θ (em graus), a imagem I de O a distância d , sendo aproximado ou afastado do espelho,

um objeto (O), formada pelo espelho E_1 , se comporta como O_1 com velocidade constante v , a sua imagem se desloca da

objeto para o prolongamento do espelho E_2 e vice-versa. 2 mesma quantidade. Veja a seguir que a simetria da imagem

Assim, os dois espelhos produzem múltiplas imagens. nos garante isso. O número total (N) de imagens formadas pelos dois espelhos

é dado por:

O, E_1, E_2, I



$$N = \frac{360}{\theta} - 1$$

D D

Observe que,

d d

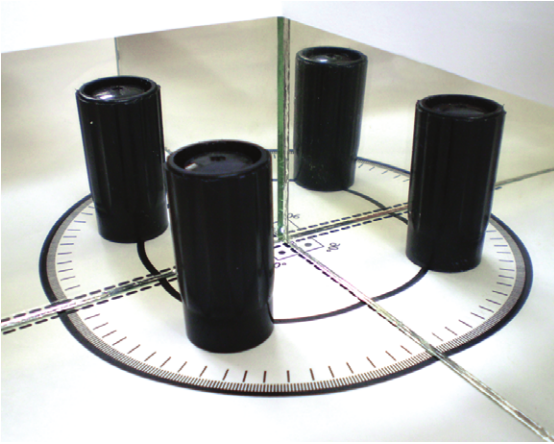
E

1. se $360^\circ/\theta$ for par, para qualquer posição do objeto

O I' I'

entre os espelhos, o observador verá **N**
imagens.

2. se $360^\circ/\theta$ for ímpar, o observador verá N imagens



apenas se o objeto estiver equidistante dos espelhos. $D + d \quad D + d$











■

■

■

■





Frente C Módulo 02

Analizando a figura anterior, chegamos a duas conclusões Se o espelho gira, em relação à luz incidente, de um ângulo α ,

importantes: o raio refletido gira o dobro desse ângulo, ou seja, o raio

refletido gira de um ângulo 2α . Veja a seguir. O ângulo entre

1. A imagem e o objeto se deslocam, em relação aos raios incidente e refletido (δ), na primeira figura, é igual δ_1

espelho, ao mesmo tempo e na mesma quantidade. $\delta = \delta_1 + \delta_2$, ou seja, $\delta = 2\alpha$. Após girar o espelho de α , Assim, eles têm velocidades de mesmo módulo v em (a normal também gira de α), os ângulos de incidência e de relação ao espelho, porém de sentidos opostos. Logo, reflexão passam para $\theta + \alpha$, cada um.

a velocidade da imagem, em relação ao objeto, terá módulo igual a $2v$.

2. A imagem **virtual** se desloca, em relação ao objeto, $\delta = 2\alpha$

dispositivo óptico, da mesma forma que o objeto.

Ou seja, se o objeto se **afasta** (ou se aproxima) do espelho, a imagem também se **afasta** (ou se aproxima) do espelho. Isso vale para qualquer imagem **virtual** (inclusive nos futuros casos), sendo

essa uma informação útil que deve ser memorizada. Assim, o ângulo (δ) entre os raios incidente e refletido, ₂

na segunda figura, será $\delta = (\theta + \alpha) + (\theta + \alpha) = 2\theta + 2\alpha$.

Agora, vamos considerar que o espelho foi deslocado. A diferença entre δ e corresponde ao ângulo que o raio δ_1

Considere um objeto colocado a uma distância D de um espelho refletido gira, ou seja: $\delta - (2\theta + 2\alpha) - (2\theta) = 2\alpha$. Logo, ₁

plano (E). Se o espelho for deslocado de uma distância d , se se o espelho gira com velocidade angular ω , o raio refletido

aproximando ou se afastando do objeto, a imagem do objeto gira com velocidade angular 2ω .

será deslocada de $2d$. Veja a seguir. Na primeira figura, O fato anterior tem uma aplicação prática muito

a distância objeto-imagem é: $OI = D + D = 2D$. Na segunda, importante. Alguns aparelhos de medição, que usam

a distância objeto-imagem é: $OI' = (D + d) + (D + d) = 2D + 2d$. ponteiros que se deslocam numa escala, têm afixado no

Assim, a distância entre as imagens (deslocamento da ponteiro um pequeno espelho plano. Um feixe de luz incide

imagem) é a diferença entre as medidas anteriores, ou seja, no espelho e o raio refletido é projetado sobre o zero de uma

objeto é o raio refletido pelo espelho gira o dobro desse valor e v , a velocidade da imagem em relação ao espelho se desloca bastante, indicando a leitura a ser efetuada. Isso tem módulo v , mas em relação ao objeto tem módulo $2v$. **2d.** Veja ainda que, se a velocidade do espelho em relação ao escala. Quando o ponteiro gira, indicando funcionamento,

permite que a sensibilidade do aparelho seja ajustada de

O acordo com a necessidade. $I \propto E$

$$2v$$

D EXERCÍCIO RESOLVIDO D

- d 01.** Um rapaz, usando chapéu, tem altura H e encontra-se $2d$ diante de um espelho plano preso em uma parede vertical.

O E A distância entre os olhos do rapaz e o chão mede x .

▪

I' I' Qual tamanho mínimo do espelho, e em que posição este

deve ficar, para permitir ao rapaz enxergar a imagem

▪

completa
de
seu
corpo?

$D + d$ **Resolução:** $D + d$

A figura a seguir representa o espelho de tamanho mínimo h

Se um raio de luz incide sobre um espelho,
formando um (segmento BD), o rapaz de altura H (em linha
cheia)

ângulo e a sua imagem (em linha tracejada). O espelho foi θ com
a normal, ele é refletido, formando o mesmo

ângulo com a normal (2^{a} Lei da Reflexão). Isso nos

permite posicionado na parede de forma a permitir que o rapaz,

de um ângulo e dos seus pés, respectivamente. Lembre-se de que as α , o raio refletido gira do mesmo ângulo α . distâncias da imagem e do rapaz ao espelho (d) são Assim, os raios incidente e refletido giram com a mesma concluir que, se o raio incidente gira em relação ao espelho visando os pontos B e D, possa ver a imagem do chapéu

iguais, e que a altura (H) do rapaz e de sua imagem

velocidade angular. Veja a seguir.

também são iguais. Na figura, A representa os olhos.

A B C

R_t

R_l

α h

$\theta \theta_x \theta + \alpha$

N H N

θ D

$\theta \theta + \alpha_y$

I

64 Coleção Estudo

▪

▪

I

▪

I









■

■

■

■

■

■

■





Reflexão da luz e espelhos planos

Seja y a distância da base inferior do espelho até o chão. **03.** (UFMG–2006) Uma vela está sobre uma mesa, na frente

Na figura anterior, temos: de um espelho plano, inclinado, como representado na

- Triângulos **ABD** e **ACE** semelhantes. figura a seguir.

$$BD/CE = d/2d \Rightarrow h/H = d/2d \Rightarrow h = h/2 \text{ Assinale a alternativa cujo diagrama representa}$$

- **CoRRETAMENTE** a formação da imagem do objeto Triângulos **EDF** e **EAP** semelhantes.

$$DF/AP = d/2d \Rightarrow y/x = d/2d \Rightarrow y = x/2 \text{ Espelho nessa situação.}$$



Assim, podemos concluir que o tamanho mínimo do Vela



espelho é igual à metade da altura do rapaz ($h/2$), e

que o espelho deve ser colocado de forma que sua base

fique distante do solo de um valor igual à metade do valor

da distância dos olhos do rapaz até o chão ($x/2$). Vale

da distância que o rapaz se encontra do espelho. Imagem Vela
Espelho observar, também, que esse resultado é **independente A)**
Espelho C) Imagem

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

B) Espelho D)

Espelho Vela Imagem Vela

01. (UFMG) Observe a figura:

Imagem

04. (UFSCar-SP-2008) Considere um espelho plano e um observador, à sua frente, apoiados verticalmente sobre o solo horizontal. A respeito do espelho e da imagem daquele observador, conjugada pelo espelho, analise as 30° α afirmações a seguir.

I. A imagem é virtual, tem as mesmas dimensões do observador e é simétrica deste em relação ao espelho.

70° II. Se o observador se aproximar do espelho com SICA velocidade de 10 m/s, a sua imagem vai afastar-se Fí do espelho com velocidade de

mesmo módulo.

III. O campo visual do espelho, para o observador,

Nessa figura, dois espelhos planos estão dispostos de

independe da posição e da distância do seu olho em

modo a formar um ângulo de 30° entre eles. Um raio

relação ao espelho.

luminoso incide sobre um dos espelhos, formando um

ângulo de 70° com a sua superfície. Esse raio, depois IV. Para o observador enxergar a imagem de todo o seu

de se refletir nos dois espelhos, cruza o raio incidente, corpo, as alturas do espelho e do observador devem

formando um ângulo ser iguais. α de

A) 90° . V. Se o observador cair de costas, com a cabeça se

afastando do espelho, a sua imagem gira de 90° em

B) 100° .

relação à imagem anterior.

C) 110° .

O número de afirmações **CoRRETAS** e pertinentes é

D) 120° .

A) 01. B) 02. C) 03. D) 04. E) 05.

E) 140° .

02. (UEL-PR) Um observador O vê a imagem de um objeto P entre si, coloca-se um objeto P a 1,5 cm de um deles e **05.** (UFAL-2006) Entre dois espelhos planos, perpendiculares

refletida num espelho plano horizontal. A figura mostra a 2,0 cm do outro, como representa a figura. um feixe de raios luminosos que partem de P. O raio que

atinge o observador O é

1,5 cm P

P

2,0 cm

O

O número de imagens que se obtém e a distância

A B C D E

do objeto à imagem mais afastada, em cm, valem,

A) respectivamente, PAO. D) PDO.

B) A) 2 e 3. C) 3 e 3. E) 3 e 5. PBO. E) PEO.

B) 2 e 4. D) 3 e 4.

C) PCO.

Editora Bernoulli 65

Frente C Módulo 02

EXERCÍCIOS PROPOSTOS Para que tal fato

ocorra, o médico teve de afixar sobre a parede CD um cartaz com esse símbolo desenhado na

01. seguinte forma: (UFAL–2008) A figura a seguir ilustra um espelho

plano e dois pontos, A e B, situados ao longo da linha A) C)
perpendicular ao espelho. A distância do ponto B à
imagem do ponto A é igual a B) D)

A **05.** (PUC Minas) João e Mário, que têm ambos a altura de B

1,60 m, encontram-se diante de um espelho plano.

João está a 1,0 m de distância do espelho e Mário,

2 cm 1 cm a 4,0 m. Qual o tamanho da imagem de Mário (M)

comparado com a imagem de João (J)?

A) 6 cm. B) 5 cm. C) 4 cm. D) 3 cm. E) 2 cm. A) M é quatro vezes J
D) M é um meio de J

02. B) M é duas vezes J E) M é um quarto de J

(UFMG) Oscar está na frente de um espelho plano,

observando um lápis, como representado na figura. C) M é igual a J

K L N **06.** (PUCPR) Piero, que utiliza seu relógio na mão esquerda,

M coloca-se a três metros de um espelho plano. O garoto Espelho levanta a mão esquerda. Analise as afirmações a seguir:

I. Piero vê sua imagem a seis metros de si.

Lápis

II. A imagem é invertida, isto é, está com os pés para cima.

III. A imagem levanta a mão que não possui relógio.

Oscar IV. A imagem tem a mesma altura do garoto.

Com base nessas informações, é **CoRRETo** afirmar que Assinale a única alternativa **CoRRETA**.

Oscar verá a imagem desse lápis na posição indicada A) Apenas I C) Apenas II E) II e IV

pela letra

B) I e IV D) I e III

A) K. B) L. C) M. D) N.

07. (FCMMG–2009) Um sistema óptico é constituído por dois (FCMMG) espelhos planos paralelos, como na figura. Uma pequena

Instrução: As questões **03** e **04** referem-se à figura e ao lâmpada L, colocada entre os dois espelhos, é vista pelo

enunciado a seguir. observador O, através dos dois espelhos. A imagem da

lâmpada será formada no ponto

A figura representa a planta baixa de uma sala de espera

de um consultório médico retangular (ABCD) de 3,0 m

de comprimento por 2,0 m de largura. A L

D

A B C

B



C D

o médico mandou revestir a parede AB com um espelho A) A. B) B. C) C. D) D. Para que a sala tenha uma aparência mais ampla,

plano. Uma pessoa se encontra parada no canto D.

08. (Mackenzie-SP-2008) Certa pessoa possui um espelho

03. plano retangular, de 90 cm de altura. Quando ela fica Essa pessoa verá o canto C, através do espelho, distando em pé diante do espelho, disposto verticalmente e

dela de, aproximadamente, convenientemente posicionado, consegue ver sua imagem

A) 3,0 m. C) 4,0 m. de corpo inteiro. Nessas condições, pode-se afirmar que

B) 3,6 m. a referida pessoa tem a altura máxima de D) 5,0 m.

A) 1,80 m. C) 1,67 m. E) 1,35 m.

04. A pessoa, olhando para a parede AB, que contém o B) 1,70 m. D) 1,53 m.

espelho, vê o símbolo desenhado a seguir, que representa

a logomarca do médico. **09.** (FAAP-SP) Com três bailarinas colocadas entre dois

espelhos planos fixos, um diretor de cinema consegue

uma cena onde são vistas, no máximo, 24 bailarinas.

O ângulo entre os espelhos vale

A) 10°. B) 25°. C) 30°. D) 45°. E) 60°.

66 Coleção Estudo

Reflexão da luz e espelhos planos

10. (UFES) Num salão quadrado, de lado a , o cabeleireiro **13.**
(FUVEST-SP-2006) Em uma exposição, organizada em

se encontra no ponto P, defronte de um espelho plano dois andares,
foi feita uma montagem com dois espelhos

vertical, preso no meio da parede AB. Se a distância do planos, E_1 e
 E_2 , dispostos a 45° entre os andares, como

cabeleireiro à parede é b , qual deve ser a largura mínima na figura.
Uma visitante, quando no andar superior, no

do espelho de modo que ele possa visualizar toda a ponto A,
fotografa um quadro (Q), obtendo a foto 1, tal

largura L da porta de entrada, às suas costas? como vista no visor.

A

a E Q A_1

L P

b

B

foto 1 E_2

B

A) $L b \cdot L a b \cdot +$ o mesmo quadro
através dos espelhos. A nova foto, tal .

C) $L b$ E) () Essa visitante, ao descer
as escadas, fotografa, no ponto B,

a como vista no visor, é $a b + b$

B) $L_b \cdot L_a$ B) $A) D) \cdot - D) ()$

$a b b -$

11. B) E) (Unimontes-MG) Um homem caminha, com velocidade de módulo $v = 3 \text{ m/s}$ em relação ao solo, em direção H a um espelho plano vertical E , o qual também se move com velocidade de módulo $v_C)_E = 4 \text{ m/s}$ em relação ao solo (veja a figura). O módulo da velocidade da imagem, em

relação ao homem, é **SICA v_E 14. (UFF-RJ)**
Dois espelhos planos paralelos, E_1 e E_2 , estão F_1 frente a frente, separados pela distância de 20 cm. Entre v

E_H eles, há uma fonte luminosa F , de pequenas dimensões, na posição indicada na figura. **CALCULE** a distância entre a primeira imagem fornecida pelo espelho E_1 e a primeira $_1$ imagem fornecida pelo espelho E_2 .

A) 1 m/s.

B) 20 cm 3 m/s. $E_1 E_2$

C) 2 m/s.

D) 4 m/s. F

12. (FUVEST-SP) Na figura, F indica um ladrilho colocado

perpendicularmente a dois espelhos planos que formam um ângulo reto. Assinale a alternativa que corresponde **15.** (UFRRJ) A figura a seguir mostra um objeto pontual P que às três imagens formadas pelos espelhos.

se encontra a uma distância de 6,0 m de um espelho plano.

Espelhos Espelho

F

6,0 m 60°

A) P C) E)

F F F F F F

F F F

F F F

B) D)

F F F F Se o espelho for girado de um ângulo de 60° em relação F F F F à posição original, como mostra a figura, qual a distância entre P e a sua nova imagem?

Editora Bernoulli **67**

Frente C Módulo 02

Seção ENEM C) apenas pelo observador O₁, e este enxerga apenas a metade da imagem do malabarista.

01. Para reduzir o aquecimento global da Terra, a geração D) apenas pelo observador O₂, e este enxerga apenas a

de energia por queima de combustíveis fósseis deve ser metade da imagem do malabarista.

reduzida. Por isso, nos próximos anos, a utilização da E) pelos dois observadores, sendo que O₁ enxerga energia solar deverá aumentar muito em localidades com apenas a parte inferior da imagem. alta taxa de insolação. Um sistema muito eficiente para

captar essa energia é o coletor concentrador, mostrado a **03.** O periscópio é um acessório fundamental dos submarinos,

seguir, que converge os raios solares, através de espelhos usado para captar imagens acima da água. Também

cilíndricos, para tubos absorvedores cheios de água. teve largo uso em guerras, para observar o movimento

inimigo de dentro das trincheiras. Um periscópio básico

utiliza dois espelhos paralelos, a certa distância um

Absorvedor do outro. Os espelhos devem estar num ângulo de

45°, pois, caso contrário, a imagem não ficará perfeita.

Refletor Os raios luminosos atingem o primeiro espelho, que os reflete

para o segundo espelho, e daí são novamente refletidos para

Água quente o visor. O trajeto completo da luz possui a forma aproximada

Água fria da letra “Z”, em que por uma das extremidades, a luz refletida

pelos corpos a serem observados entra, e, pela outra, ela atinge os olhos do observador, possibilitando que este veja o

Para baratear a fabricação do espelho concentrador, uma que, a princípio, estaria fora do seu alcance de visão.

empresa utiliza quatro longas “tiras” de espelhos planos montadas paralelamente ao tubo absorvedor, conforme mostra a figura seguinte.

Raios solares

Tiras de

espelhos

1 2 3 4 5

Possíveis posições dos

tubos absorvedores

Soldado britânico utilizando um periscópio numa trincheira durante a Batalha de Gallipoli.

Para que ocorra uma maior absorção dos raios solares,

o tubo absorvedor deverá ficar na posição A figura a seguir mostra um objeto diante do periscópio.

A) 1. B) 2. C) 3. D) 4. E) 5. Objeto

02. Numa apresentação de circo, um equilibrista (M) faz

uma apresentação sobre um cabo de aço esticado

na horizontal, a 5,0 m do solo. Um grande espelho

plano, colocado na vertical, permite que o artista e os

observadores O e O , colocados nas posições indicadas 1 2

nas figuras a seguir, vejam a imagem (I) do equilibrista

conforme indicado na figura 1. Dessa forma, o artista se

aproxima e se afasta do espelho com facilidade, pois ele Das opções seguintes, a que corresponde à imagem

pode ver a imagem do cabo de aço por meio do espelho. formada pelo periscópio é

Num determinado momento, o diretor de cena manda

baixar uma espessa cortina opaca (C), que cobre toda a A) B) C) D) E)

metade superior do espelho, conforme a figura 2.

M C I M I GABARITO

Fixação



Apesar da colocação da cortina,
uma imagem completa de O 01. D
02. D 03. B 04. C 05. E 1 O O 1 2 E
O 2 E Propostos Figura 1 Figura 2
01. C 05. C 09. D 13. A 02. B 06. B 10. C 14. D
= 40 cm todo o corpo do malabarista continua a ser formada pelo 03.
D 07. D 11. C 15. d = 6,0 m



espelho. A imagem formada pelo espelho poderá ser vista 04. C 08.



A) apenas pelo observador O , e este enxerga a imagem 1 Seção Enem completa do corpo do malabarista.



B) apenas pelo observador O , e este enxerga a imagem 2 01. A 02. E 03. A

completa do corpo do malabarista.

68 Coleção Estudo Física MÓDULO FRENTE Eletrização 01 D

Seria difícil imaginar a vida atual sem a eletricidade, sem a iluminação, o computador e a Internet, o carro e outros. Sem 1. os prótons e os elétrons têm alguma propriedade

coisas simples, como o “choque” que você leva ao tocar a que o nêutron não possui. maçaneta da porta num dia seco. Para entender a importância 2. como as forças possuem o mesmo módulo, de tudo isso, convido você ao “**Mundo da Eletricidade**”. a propriedade tem de ter mesmo valor para o próton

e para o elétron.

Os primeiros fenômenos elétricos foram observados antes de Cristo. O filósofo grego Tales notou que o âmbar (espécie de

Tal propriedade é a **carga elétrica** (Q). Como existe repulsão resina natural), depois de atritado em tecido, atraía corpos leves.

entre partículas de mesmo nome e atração entre próton e

Aproximadamente dois mil anos depois, cientistas como elétron, concluímos que suas cargas devem ter alguma diferença.

Coulomb, Ampère e outros descobriram os princípios Por isso, os cientistas convencionaram que a carga do próton é

fundamentais da Eletricidade. Nestes, encontramos a existência **positiva** e a do elétron é **negativa**. Logo, o nêutron não tem

da **carga elétrica** – propriedade inerente a algumas partículas –, carga elétrica. que é a razão de ser da Eletricidade.

O próton e o elétron têm cargas de mesmo valor absoluto,

Vamos começar o nosso estudo com a **Eletrostática** – o qual chamaremos de **carga elementar** (e).

parte da Eletricidade na qual as cargas elétricas não apresentam

movimentos ordenados, exceto em um curto intervalo de tempo. O valor aproximado da carga elementar é:

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

A CARGA ELÉTRICA

A unidade de medida de carga elétrica, no SI, é o

coulomb (C), em homenagem ao cientista francês Charles de

Você sabe, com base na Química, que a matéria é formada Coulomb (1736-1806).

por átomos. Estes possuem prótons, elétrons e, geralmente,

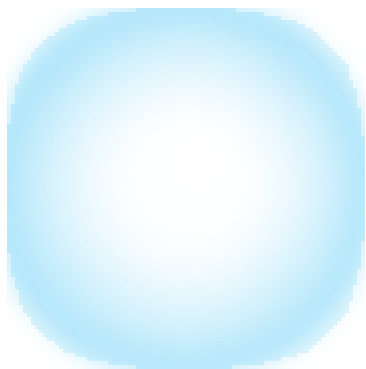
nêutrons. Colocadas próximas umas às outras, as partículas Em seu estado natural, os átomos apresentam o mesmo

podem interagir ou não entre si. A figura a seguir mostra um número de prótons e de elétrons. Portanto, a carga total dos

átomo de hélio. átomos é **zero**. Assim, para apresentarem comportamento elétrico, é necessário retirar ou fornecer elétrons a eles.



Pode acontecer de o átomo ganhar ou perder prótons. Mas,



Elétrons como isso é raro, vamos considerar que os corpos trocam, entre Nêutrons



Prótons si, apenas elétrons.



Uma constatação importante é a de que só podemos retirar



ou fornecer ao átomo (ou a um objeto) um número inteiro



de elétrons. Não é possível, por exemplo, retirar $\frac{1}{2}$ elétron



ou fornecer $\frac{3}{4}$ de elétrons ao átomo. Assim, dizemos que a



carga do átomo ou de qualquer objeto carregado (eletrizado),

é **quantizada**. Ou seja, a carga (Q) pode apresentar inúmeros

valores distintos, mas todos, sem exceção, são múltiplos inteiros

O que acontece entre cada par de diferentes partículas, da carga elementar (e).

se colocadas a uma mesma distância? Veja.

$$Q = n \cdot e \Rightarrow Q = n \cdot (1,6 \times 10^{-19})$$

$$n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$$

Sendo que n é o saldo elétrico do objeto, que depende do número de elétrons fornecidos ou retirados desse objeto.

$$Q = n \cdot e$$

Dois corpos eletrizados com cargas de **sinais opostos** exercem, entre si, forças de **atração**. Quando estão eletrizados

Observe que surge uma força atuando nos prótons e com carga de **mesmo sinal**, as forças são de **repulsão**.

nos elétrons, mas não nos nêutrons. Observe também que

todas as forças da figura anterior têm o mesmo módulo, A tabela mostra os valores aproximados da carga, da massa de

o que nos permite concluir que repouso e da massa relativa do elétron, do próton e do nêutron.

Editora Bernoulli 69

Frente D Módulo 01

Massa

ELETRIZAÇÃO

Partículas Carga elétrica Massa (kg)

(C) relativa

Elétron Em seu estado natural, a matéria é neutra, porque ela é –
 $1,602 \times 10^{-19}$ $9,109 \times 10^{-31}$ 1

formada por átomos neutros. Eletrizar a matéria significa

Próton $1,602 \times 10^{-19}$ $1,673 \times 10^{-27}$ $1,84 \times 10^{-27}$ alterar esse equilíbrio
de cargas, tornando-a carregada positiva

ou negativamente. Esse desequilíbrio é obtido retirando ou

Nêutron 0 $1,675 \times 10^{-27}$ $1,84 \times 10^{-27}$ fornecendo elétrons aos
átomos.

Quando retiramos elétrons de um corpo, ele fica eletrizado

Um fato importante que você precisa conhecer é o **Princípio** (ou carregado) **positivamente**, pois o número de prótons,

da Conservação das Cargas Elétricas. Ele estabelece que, que não é alterado, fica superior ao número de elétrons.

num sistema fechado, a soma algébrica das cargas é constante Ao contrário, quando fornecemos elétrons a um corpo, este fica

no tempo. Assim, considerando um sistema composto por dois eletrizado **negativamente**, porque o número de prótons fica

corpos isolados (sistema fechado), se um deles, por algum inferior ao número de elétrons. evento, perde certa quantidade de carga, o outro ganha a

mesma quantidade. Ou seja, **a soma total das cargas, antes** Um corpo pode ser eletrizado de três maneiras diferentes:

e depois do evento, é a mesma. por atrito, por contato ou por indução.

Considere os fios, que são parte de um circuito elétrico,

Eletrização por atrito

e através dos quais flui, num certo intervalo de tempo, certa

quantidade de carga. Assim, você pode observar, nas figuras a

seguir, o Princípio da Conservação das Cargas Elétricas. Observe Quando dois corpos são atritados, essa atividade realiza um

que a quantidade de carga que entra e que sai do ponto de trabalho sobre os elétrons, facilitando sua transferência do corpo

junção dos fios (nós) é a mesma. de menor tendência a atrair elétrons para o corpo de maior

tendência
a atrair
elétrons.

10 C 25 C Quando eletrizados por atrito, os corpos ficam carregados com 30 C 15 C cargas de sinais **opostos**, pois o

corpo que **perdeu** os elétrons

fica carregado **positivamente**, enquanto o que os **ganhou** fica

20 C 40 C eletrizado **negativamente**. Os **módulos** das cargas adquiridas

pelos dois corpos são **iguais**, pois o número de elétrons que um corpo perdeu é igual ao número de elétrons que o outro ganhou.

CONDUTORES E ISOLANTES Conheça cinco observações sobre eletrização por atrito:

(OU DIELÉTRICOS) 1. Durante o atrito, apenas elétrons são trocados entre os

corpos, continuando os prótons e os nêutrons presos ao

núcleo
atômico.

Um material condutor permite que haja fluxo de cargas através 2.
Corpos feitos do mesmo material não se eletrizam por

dele, sem muita dificuldade. Para isso, ele deve possuir cargas atrito,
pois ambos apresentam igual tendência de atrair

livres em sua estrutura ou ter facilidade de obtê-las. elétrons.

Os condutores podem ser 3. Os elétrons que se transferem de um corpo a outro são

apenas uma pequena parte do total de elétrons que o

1. **sólidos** (metais e a grafite), nos quais as partículas que corpo possui. Na maioria das vezes, o corpo perde poucos

se deslocam através deles são os **elétrons**. dos seus elétrons.

2. **líquidos** (soluções iônicas), nos quais os **íons** positivos 4. Um condutor pode ser eletrizado por atrito desde que você

e os negativos percorrem a solução em sentidos opostos. o segure com algum material que seja isolante. Se não

3. o fizer, quase a totalidade das cargas que ele adquire vai **gases** (quando ionizados), nos quais temos movimento

para o seu corpo e ele fica praticamente descarregado.

de **elétrons** e de **íons** positivos e negativos.

5. Um mesmo corpo pode ser eletrizado positiva ou

O meio isolante (ou dielétrico), quando tal, impede que um fluxo negativamente, dependendo do material com o qual foi significativo de cargas passe através da sua estrutura. Ele também atritado. A tabela a seguir, chamada Série Triboelétrica,

pode ser sólido, líquido ou gasoso. A borracha é um exemplo típico mostra uma sequência de alguns materiais. Qualquer

de isolante (ou dielétrico). Em condições normais, a borracha e deles, atritado com outro que esteja à sua **esquerda**,

outros isolantes, como o vidro e a madeira, não possuem cargas ficará **negativamente** eletrizado. Se atritado com um

elétricas livres que possam se deslocar através deles. que esteja à sua **direita**, vai se tornar **positivamente**

A definição de condutor e isolante não é absoluta. É importante carregado.

que você saiba que todos os isolantes, exceto o **vácuo**, podem

Série Triboelétrica

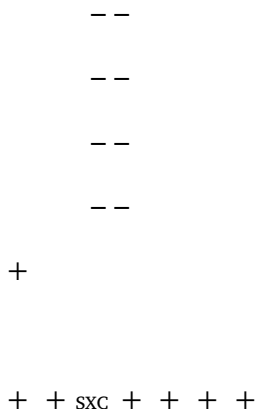
conduzir eletricidade dependendo das condições a eles impostas.

Isso poderá ser verificado no módulo que abordará o campo pele vidro seda cabelo borracha humana algodão elétrico.

Eletrização

Observe, na figura a seguir, um bastão de borracha sendo atritado em um tecido de seda. Note que o bastão de borracha ficou eletrizado negativamente e a seda, positivamente.

Seda



+ Eletrização
por contato

Bastão de

borracha A eletrização por contato ocorre, de forma mais eficaz, nos

condutores. Neles, as cargas tendem a ficar na superfície externa

Muitos fatos do cotidiano são explicados pela eletrização por – posição nas quais elas estão o **mais distante** possível umas

atrito. Por exemplo, uma blusa de seda, quando usada em um das outras.

dia seco, se “agarra” à nossa pele ao ser retirada do corpo.

De acordo com a tabela anterior, qual o sinal da carga elétrica **A –Q**
B

da blusa de seda? E a da pele de nosso corpo? **Não** é necessário

memorizar a sequência da tabela anterior. Considere os condutores A e B, da figura anterior, separados e

Faça você mesmo a experiência a seguir, se o dia não estiver distantes um do outro. O corpo A está eletrizado com carga $-Q$,

e o objeto B está neutro. Quando colocados em contato, as úmido.

cargas ficam na superfície externa do sistema formado por A

Rasgue um punhado de pedacinhos de papel e os coloque e B, conforme a figura a seguir. Observe que a carga total do

sobre uma mesa. Pegue um pente ou uma régua de plástico e sistema continua igual a $-Q$.

a régua dos pedacinhos de papel. Você percebeu que eles foram **–Q B** esfregue, rápida e vigorosamente, em seus cabelos. Aproxime

A

atraídos para a régua? **SICA**

Separando-se os objetos, por uma pequena distância, cada **Fí**



um deles fica com a carga ($-Q$ e $-Q$) que estava distribuída $A B$ em sua superfície, conforme mostrado a seguir. Observe que



as cargas vão para as extremidades opostas, por causa da

repulsão
entre
elas.

$-Q -Q A B$

de Arte Se os objetos forem colocados bem distantes um do outro,

Editoria as cargas de cada um distribuem-se pela sua respectiva

superfície, de modo, novamente, a ficarem o mais distante

CURIOSIDADE possível umas das outras. Veja a seguir.

Você sabe por que uma faísca elétrica pode, durante uma

tempestade, “rasgar” uma árvore ao meio? Fácil! Veja:

–Q A –Q B A B a faísca transporta, através da árvore, uma grande quantidade

de carga elétrica de mesmo sinal, além de muita energia.

Observe, na figura seguinte, um bastão com cargas

Assim, a descarga elétrica provoca o aumento da pressão

interna da árvore, devido ao aumento de temperatura, No contato, ambos ficam eletrizados com carga negativa. Assim, negativas que se aproxima de uma bolinha de latão até tocá-la.

e faz com que partes adjacentes da árvore sofram a ação após o contato, a bolinha é repelida pelo bastão. de forças repulsivas de grande intensidade, devido a grande

quantidade de carga elétrica de mesmo sinal que a árvore

adquire. Se a árvore não suportar tal força, ela se parte. -----
Assim, quem tem cabelo comprido deve evitar penteá-lo por -----
--- muito tempo. O pente e o cabelo ficam eletrizados com cargas --
Esfera de sinais contrários. Porém, os fios de cabelo terão cargas de
neutra mesmo sinal e irão se repelir. Isso pode “quebrar” as pontas dos
cabelos, da mesma forma que a árvore é “rasgada”.

Um balão de borracha atritado em algodão, por exemplo, fica
eletrizado. Observe na fotografia a seguir o que acontece ao Dois
casos, envolvendo **condutores esféricos**, merecem a

aproximarmos um balão eletrizado dos cabelos de uma garota. sua
atenção.

Frente D Módulo 01

Contato interno Se colocadas em contato, haverá transferência de uma quantidade de elétrons da esfera B para a esfera A, pois os Temos uma esfera metálica, oca, com uma abertura que permite elétrons em excesso encontrarão uma situação de maior que um objeto seja introduzido em seu interior. Considere, afastamento ainda. nessa situação, que ela esteja descarregada. Uma pessoa pega

uma vareta isolante, que tem na sua extremidade uma esfera Como a esfera B é maior do que a esfera A, ela possui uma

condutora carregada com uma carga $(-Q)$, conforme a figura. maior capacidade de armazenar cargas. Por isso, a carga final

- na esfera B será maior do que na esfera A. -

-

-- A carga final de cada corpo, quando forem esféricos, -

- $-Q$ é proporcional ao raio de cada esfera. Após o contato, sendo

$R_B = 2R_A$, temos que as cargas de B e A serão $Q_B = -32 \mu C$ e

$$Q_A = -16 \mu C.$$

Note que a soma das cargas finais continua igual à carga total

inicial $(-48 \mu C)$,
ou seja, o
Princípio
da
Conservação
das
Cargas
Elétricas
foi

Fica evidente que, para esferas do mesmo tamanho, a carga total inicial se divide igualmente entre elas, após o contato.

A pessoa leva a esfera eletrizada a tocar o interior da esfera oca, em qualquer lugar desta. Já que as cargas tendem a ficar o Um fato não tão evidente assim, porém importante, é que mais distante possível umas das outras, **toda** a carga da esfera a divisão de cargas (citada anteriormente) **não** depende do interior se transfere para o exterior da esfera maior, conforme material do qual as esferas são feitas. Basta que elas sejam mostrado adiante. condutoras.

–Q

– Saiba quatro características da eletrização por contato:

- 1. Se a esfera B estivesse eletrizada positivamente, as

-

cargas finais de A e B seriam $Q = 16 \text{ C}$ e $Q_A \mu = 32 \text{ } \mu\text{C}$. Nesse caso, a esfera A iria transferir uma quantidade

- $q = 0$ de elétrons para a esfera B. A esfera A ficaria com

- carga positiva por ter perdido esses elétrons.

-

- 2. Após o contato entre corpos condutores eletrizados,

estes adquirem cargas de mesmo sinal, sendo que o

corpo de maior capacidade armazenará a maior carga.

Essa é uma boa forma de você, com certeza, neutralizar 3. Se ambos estão previamente eletrizados, a carga de totalmente um objeto que estava carregado. cada um deles, após o contato, terá o sinal da carga daquele que tiver maior carga inicial em módulo.

Contato externo Se a soma das cargas iniciais for zero, as cargas finais

dos corpos serão iguais a zero, independentemente

Vamos considerar duas esferas metálicas, A e B, apoiadas do tamanho deles.

sobre suportes isolantes, bem distantes uma da outra, conforme 4. A eletrização por contato ocorre também entre corpos

a figura seguinte. O raio da esfera B é o dobro do raio da esfera A. dielétricos. Porém, a troca de cargas se faz apenas no

A esfera A está neutra, enquanto a esfera B se encontra ponto onde os corpos se tocam, pois, sendo isolantes,

eletrizada negativamente com uma carga $Q = -48 \mu\text{C}$. B a carga não pode se deslocar ao longo deles.

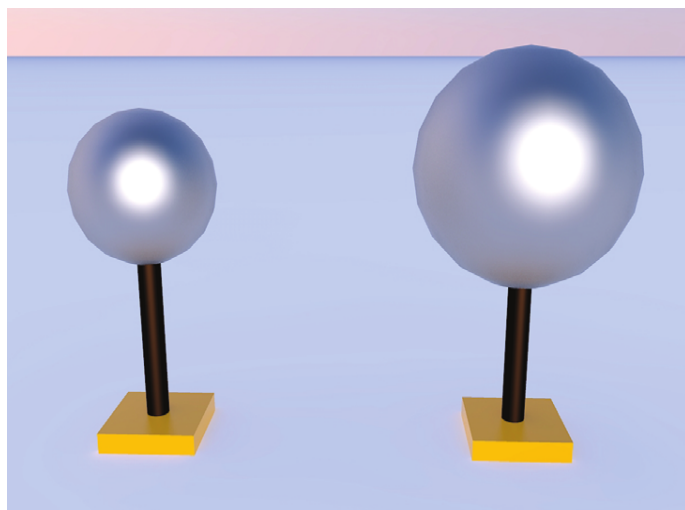
Sendo condutora, é natural que os elétrons em excesso A combinação dos processos de eletrização por atrito e

na esfera B estejam uniformemente distribuídos sobre a sua por contato nos permite compreender mais alguns fatos

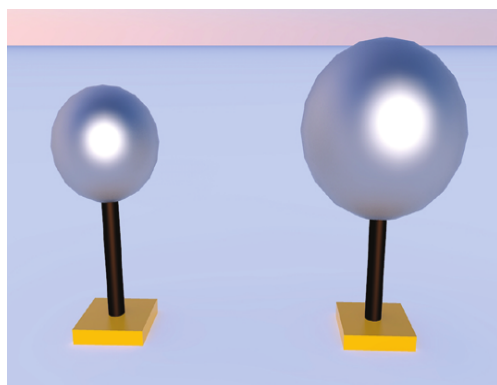
superfície, pois assim eles ficarão com o maior afastamento interessantes observados no dia a dia. Um caminhão em

possível uns dos outros. movimento adquire carga elétrica devido ao atrito com o ar.

Essa carga se acumula na lataria do caminhão, que está $-48 \mu\text{C}$ isolada do chão pelos pneus de borracha. Se a quantidade de



A — — — carga acumulada for elevada, poderá ocorrer uma centelha — elétrica entre o caminhão e o ar. Para evitar essa centelha, — B alguns caminhões arrastam uma corrente pelo chão. O contato — — da corrente com o chão permite que a carga adquirida pelo — — caminhão seja transferida para a Terra. —



Comparando os tamanhos do caminhão e do planeta Terra, conclui-se que a carga se transfere, **integralmente** (aproximação tão eficiente que pode ser considerada como fato verdadeiro), para a Terra.

72 Coleção Estudo

Eletrização

A seguir, tem-se dois corpos eletrizados a serem colocados. Conheça as principais características da eletrização por

em contato com a Terra. indução:

— — — 1. O corpo que provoca a indução (o bastão, no exemplo + — e — + anterior) é chamado de **indutor** e sua carga **não** é + — + afetada pelo processo. 1 2

— — + — 2. O objeto que foi eletrizado (a esfera, no caso

S S anterior), chamado de **induzido**, tem sinal de carga

e final sempre **oposto** ao sinal da carga do indutor.

3. Apenas objetos condutores podem ser eletrizados, de forma efetiva, por indução.

Ligação à Terra 4. Não confundir o simples fenômeno

da indução com (aterramento) o processo de eletrização por indução. A esfera do

exemplo citado está **induzida** logo que o bastão se

Ligando-se a chave S, haverá um fluxo de elétrons da aproxima dela – figura 2 (veja que as cargas estão

1. esfera 1 para a Terra, descarregando a esfera. separadas). Ou seja, induzir um objeto é fazer com

2. que haja uma separação de cargas nesse objeto Terra para a esfera 2, neutralizando a sua carga.

devido à aproximação de um corpo eletrizado.

Eletrização por indução

(ou influência) ELETRóSCóPIO DE FoLHAS

Veja a figura a seguir. Ela mostra as etapas da eletrização por indução. O eletroscópio de folhas, cujo princípio de funcionamento

se baseia na indução eletrostática, é um aparelho usado para

1 2 3 4 verificar se os objetos estão eletrizados. Ele é constituído de uma

esfera metálica, uma haste condutora e duas folhas metálicas

SICA

leves. As folhas ficam dentro de uma garrafa transparente para Fí

se evitar perturbações causadas, por exemplo, pelo vento.

[illegible]

— — + +

(a) (b)



A esfera condutora, conforme a figura 1, está inicialmente neutra



(possui cargas positivas e negativas em quantidades iguais). Um
 Considere um eletroscópio neutro. Se você aproxima da



bastão eletrizado negativamente se aproxima da esfera, **sem** esfera um bastão eletrizado negativamente, este vai repelir



tocá-la (Figura 2). Alguns elétrons, repelidos pelo bastão, alguns elétrons da esfera, fazendo com que esses elétrons



deslocam-se para a extremidade oposta. Apesar de as cargas se desloquem para as folhas metálicas. Assim, serão induzidas

positivas e negativas estarem separadas, a esfera continua cargas positivas na esfera e negativas nas folhas, conforme a figura



neutra (carga total zero). anterior. As folhas, com cargas de mesmo sinal, irão se repelir.



Para, de fato, eletrizar a esfera, vamos ligá-la à Terra por meio Se o bastão estiver positivo, serão induzidas cargas positivas

de um fio condutor. Os elétrons, repelidos pelo bastão, fluem nas folhas, pois o bastão vai atrair elétrons para a esfera.

para a Terra (Figura 3). Da mesma forma que antes, as folhas, agora positivas, vão se



abrir devido à repulsão entre elas.

Agora, é importante a sequência das operações. Primeiro, desfaz-se a ligação à Terra (os elétrons que fluíram para a Assim, você pode descobrir se o bastão está ou não eletrizado.

Terra não mais podem voltar). Em seguida, afasta-se o bastão Entretanto, não é possível descobrir o sinal de sua carga.

(Figura 4). Uma situação diferente ocorre quando o eletroscópio está

Veja que a esfera fica eletrizada positivamente, com as cargas previamente carregado, com cargas cujo sinal conhecemos, distribuídas uniformemente em sua superfície. conforme a próxima figura.

Editora Bernoulli 73

Frente D Módulo 01

----- + + - + - + - + - + + - - + - + - + - + - - - -
+ + - - - + - + - + - + - + - - + - + - + - + + +

+ + - + - + - + - +

-- + + - + - + - +



-- + + - + - + - +



--- + + - + - + - + - + + - + - + - + - + + --
 -- + - + - + - + + +



(a) Se um corpo eletrizado aproxima-se de um dielétrico,
 seja (b)



ele polar ou apolar, haverá um alinhamento das moléculas do



Considere, por exemplo, o eletroscópio carregado com cargas
 dielétrico na direção da força exercida pelo objeto eletrizado.



negativas – todo o seu corpo (esfera, haste e folhas) está eletrizado
Assim, as extremidades do isolante, que estão na direção do



negativamente. Assim, as folhas estão abertas. corpo carregado, terão
cargas positivas e negativas, conforme

Vamos aproximar do eletroscópio um bastão carregado mostrado na
figura anterior.



negativamente – mesmo sinal de carga do eletroscópio.



Logo, dizemos que houve uma **polarização** do dielétrico



O bastão irá repelir parte dos elétrons que estão na esfera do



(e não indução, pois não houve deslocamento de cargas).



aparelho. Assim, devido ao aumento do número de elétrons nas



folhas, a abertura destas torna-se maior.



Imagine, agora, o bastão carregado positivamente – sinal de

EXERCÍCIO RESOLVIDO



carga oposta à do eletroscópio. Assim, o bastão irá atrair parte



dos elétrons que estão nas folhas para a esfera, provocando

uma diminuição na abertura das folhas ou mesmo o fechamento **01**. Duas pequenas esferas metálicas idênticas, P e S,

total delas. estão eletrizadas com cargas $+4,0 \mu\text{C}$ e $-8,0 \mu\text{C}$,

respectivamente. Uma terceira esfera R, idêntica às outras

Logo, se o eletroscópio estiver eletrizado, e soubermos o sinal

duas e inicialmente descarregada, é colocada em contato,

de sua carga, é possível saber o sinal da carga do corpo indutor.

primeiro, com a esfera P e, depois, com a esfera S. Todas

Concluindo: as esferas estão presas a suportes isolantes. Determinar

1. Se o bastão e o eletroscópio têm cargas de **mesmo** as cargas finais das esferas P, R e S, respectivamente.

sinal, a abertura das folhas **aumenta**. *Resolução:*

2. Se o bastão e o eletroscópio têm cargas de **sinais** As figuras a seguir mostram as esferas no início e após

opostos, as folhas **diminuem** a sua abertura. os referidos contatos. Você deve se lembrar de que as

esferas, sendo idênticas, ficam com cargas iguais após

cada
contato.

POLARIZAÇÃO DE UM ISOLANTE _{4,0}
 $\mu\text{C} - 8,0 \mu\text{C} + - - + -$ **(oU DIELÉTRICO)** $- P R S - +$
 $+ - -$

Vimos, na indução, que os elétrons de um condutor,
na presença de um corpo eletrizado, deslocam-se para uma das
extremidades do objeto, de modo que o condutor fica induzido. $2,0 \mu\text{C}$
 $2,0 \mu\text{C} - 8,0 \mu\text{C}$

$+ + - -$

Em um isolante, não existe deslocamento significativo de $- -$
elétrons ao longo do material. Sabemos, porém, que um objeto **P R S** $-$
 $-$
carregado (um pente atritado nos cabelos, por exemplo) é capaz $+ + -$
 $-$
de atrair objetos dielétricos (pedacinhos de papel, por exemplo).

Em um dielétrico de moléculas polares (água, por exemplo), $2,0 \mu\text{C}$
 $- 3,0 \mu\text{C} - 3,0 \mu\text{C}$

sabemos, com base na Química, que existe, em cada uma das ---

moléculas, uma separação natural de cargas. Assim, uma das + **P** + **R**
S extremidades da molécula é positiva e a outra, negativa. ---

Se o isolante apresenta moléculas apolares, a separação

citada não existe. Entretanto, se colocado na presença

de um corpo eletrizado (positivamente, por exemplo), Assim, as cargas
finais das esferas são, respectivamente,

as cargas negativas de suas moléculas serão atraídas e as $Q = 2,0 \mu\text{C}$,
 $Q = -3,0 \mu\text{C}$ e $Q = -3,0 \mu\text{C}$. **P R S**

positivas, repelidas pelo corpo. Logo, as suas moléculas vão Uma
pergunta: você acha que o Princípio da Conservação

adquirir uma **polarização**. das Cargas foi observado no contato entre
as esferas?

74 Coleção Estudo

Eletrização

LEITURA CoMPLEMENTAR EXERCÍCIoS DE FIXAção



o Gerador de Van de Graaff 01. (UFRJ) Num certo instante
t, ΣQ é igual à soma algébrica



das cargas elétricas existentes numa certa região R,



O gerador de Van de Graaff é um instrumento muito usado limitada por uma superfície fechada S. Sabendo-se que



em laboratórios de Eletricidade. Ele funciona com base na não há possibilidade de a superfície S ser atravessada

eletrização por atrito e por contato. por matéria, pode-se afirmar que

Veja a seguir uma fotografia e um esquema de um gerador A) ΣQ aumenta no decorrer do tempo.

de Van de Graaff. B) ΣQ diminui no decorrer do tempo.

C) ΣQ não aumenta nem diminui no decorrer do tempo.



D) ΣQ tanto pode aumentar como diminuir no decorrer
5 do tempo.



02. (UFMG) Duas esferinhas metálicas, P e Q, suspensas por

+ 5 fi os isolantes e próximas uma da outra, repelem-se. +

+ + Pode-se concluir, com
certeza, que

ansportadora 4

+ + A) ambas têm cargas

positivas.

+ + B) ambas têm cargas negativas.

Pente 2 + C) uma tem carga positiva e a outra, negativa.



eletrizador 3 + D) uma tinha carga negativa e a outra, ao se aproximar 2 1 + dela, adquiriu carga positiva por indução.

+ E) ambas têm cargas de mesmo sinal, positivo ou + 1 negativo.



3 **03.** (UFMG) Um estudante atrita uma barra de vidro com um pedaço de seda e uma barra de borracha com um pedaço de lã. Ele nota que a seda e a lã se atraem, o mesmo

acontecendo com o vidro e a borracha. O estudante

O funcionamento do gerador é simples. Veja: conclui que esses materiais se dividem em dois pares

FÍSICA

O cilindro de baixo (1) é posto a girar por uma manivela ou que têm cargas do mesmo tipo.



por um motor elétrico. Uma correia transportadora isolante (2) é Com base nesses dados, pode-se afirmar que

atritada pelo pente eletrizador (3). Ela se carrega positivamente A) a conclusão do estudante está errada.

e transporta as cargas para o pente coletor (4), que é B) esses pares são o vidro com a borracha e a seda com a lã.



condutor. O pente coletor está em contato interno com a esfera C) esses pares são o vidro com a lã e a seda com a borracha.

metálica (5). D) esses pares são o vidro com a seda e a borracha com a lã.

Você sabe que o pente (4), estando em contato interno com **04.** (EFOA-MG) As figuras a seguir ilustram dois eletroscópios.

a esfera (5), transfere para ela toda a carga que recebe.

O da esquerda está totalmente isolado da vizinhança e o da

Assim, com o aparelho funcionando por certo tempo, a esfera direita está ligado à Terra por um fio o condutor de eletricidade.

adquire certa quantidade de carga. Se a esfera tiver raio de 1,0 m



e estiver no ar, ela pode apresentar potenciais de até **três**

Fio condutor

milhões de volts.

Apesar disso, não haverá perigo se alguém tocar a superfície



da esfera, pois o potencial é elevado, mas a quantidade de **carga** armazenada é **pequena** (próximo de $3,0 \times 10^{-4} \text{ C}$).

Terra

Veja como ficaram os cabelos da garota em contato com a esfera do gerador. Das figuras a seguir, a que **MELHOR** representa as

configurações das partes móveis dos eletroscópios, quando aproximarmos das partes superiores de ambos um bastão



carregado negativamente, é



A)
+
+
+
D)
+
+
+
+
+
+

B)
+
+
--
E)
--
+
+
--
-
+
+
--
+
+
--
-



sxc C) -----



Editora Bernoulli 75





■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

1

1

1

•

1

1

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•



1

2

3

4

5

6

7

8

9

10



Frente D Módulo 01

05. (UFMG–2008) Durante uma aula de Física, o professor **02.** (UFSCar-SP) Considere dois corpos sólidos envolvidos

Carlos Heitor faz a demonstração de Eletrostática que se em processos de eletrização. Um dos fatores que pode

descreve a seguir. ser observado tanto na eletrização por contato quanto

Inicialmente, ele aproxima duas esferas metálicas, R e S, na por indução é o fato de que, em ambas,

eletricamente neutras, de uma outra esfera isolante,

A) torna-se necessário manter um contato direto entre os

eletricamente carregada com carga negativa, como

corpos

representado na figura I. Cada uma dessas esferas está

apoiada em um suporte isolante. B) deve-se ter um dos corpos ligado temporariamente

a
um
aterran

Em seguida, o professor toca o dedo, rapidamente, na

esfera S, como representado na figura II. C) ao fim do processo de eletrização, os corpos adquirem

cargas elétricas de sinais opostos.

Isso feito, ele afasta a esfera isolante das outras duas

esferas, como representado na figura III. D) um dos corpos deve, inicialmente, estar carregado

eletric

R S R S E) para ocorrer, os corpos devem ser bons condutores

– – elétricos.

03. (UFTM-MG-2007) Da palavra grega *elektron* derivam os

I II termos eletrização e eletricidade, entre outros.

Analise

as afirmativas sobre alguns conceitos da Eletrostática.

R S

I. A carga elétrica de um sistema eletricamente isolado

é constante, isto é, conserva-se.

II. Um objeto neutro, ao perder elétrons, fica eletrizado

positiv

III

III. Ao se eletrizar um corpo neutro, por contato, este fica

Considerando-se essas informações, é **CoRRETo** afirmar com carga de sinal contrário à daquele que o eletrizou.

que, na situação representada na figura III,

É
CoRRETo
o
contido
em

A) a esfera R fica com carga negativa e a S permanece

neutra. A) I, apenas.

B) a esfera R fica com carga positiva e a S permanece B) I e II, apenas.

neutra. C) I e III, apenas.

C) a esfera R permanece neutra e a S fica com carga D) II e III, apenas.

negativa.

E)
I,
II e
III.

D) a esfera R permanece neutra e a S fica com carga

positiva.

04. (PUC RS–2009) Duas esferas condutoras A e B idênticas, eletricamente neutras (N), estão em contato uma com

EXERCÍCIOS PROPOSTOS a outra e isoladas eletricamente de qualquer influência, a não ser quando se aproxima de uma delas uma barra

01. (UFSM-RS) Considere as seguintes afirmativas: posição, as esferas são separadas uma da outra. Se, na eletricamente negativa. Enquanto a barra é mantida nessa

I. Um corpo não eletrizado possui um número de prótons sequência, a barra for afastada das duas esferas, a carga

igual ao número de elétrons. elétrica dessas esferas resultará

II. Se um corpo não eletrizado perde elétrons, passa a

estar positivamente eletrizado e, se ganha elétrons, —

negativamente eletrizado. — A B

III. Isolantes ou dielétricos são objetos que não podem —

ser eletrizados. N N

Está(ão) **CoRRETA(S)**

A) apenas I e II. A) positiva, tanto para A quanto para B.

B) B) positiva para A e negativa para B. apenas II.

C) apenas III. C) negativa para A e positiva para B.

D) apenas I e III. D) nula para as duas esferas, que permanecem neutras.

E) I, II e III. E) negativa para as duas esferas.

Eletrização

05. (UFT–2007) Durante uma aula de Física, o professor **07.** (PUC Minas–2009) O eletroscópio de folhas ilustrado a

Cabral realiza este experimento: inicialmente, pendura seguir está carregado positivamente. Quando uma pessoa

duas esferas de metal, ligadas por um fio, em dois tocar a esfera, as lâminas a e b se fecharão indicando que

suportes cilíndricos isolantes, como mostrado na figura I.



I II

Em seguida, ele transfere carga elétrica para uma das A) os nêutrons da pessoa passaram para o eletroscópio.

esferas e, depois disso, as duas assumem a posição

B) os prótons do eletroscópio passam para a pessoa.

mostrada na figura II. Questionados sobre o experimento,

C) passam-se elétrons da pessoa para o eletroscópio.

dois dos alunos emitiram observações diferentes:

D) o calor da pessoa aqueceu as lâminas do eletroscópio,

• Bernardo: “As esferas foram carregadas com cargas

fazendo com que elas se fechassem.

de sinais opostos.”

• Rodrigo: “As esferas estão ligadas por um fio **08.**

(PUC-SP) Leia com atenção a tira do gato Garfield

metálico.”

mostrada a seguir e analise as afirmativas que se seguem.

Considerando-se o experimento descrito, é **CoRRETo** GARFIELD JIM DAVES

afirmar que

A) apenas a observação de Bernardo está certa.

B) apenas a observação de Rodrigo está certa.

C) ambas as observações estão certas. **SICA**

D) nenhuma das duas observações está certa. **Fí**

06. (UFVJM-MG–2009) Penduram-se a fios de seda duas

pequenas esferas condutoras idênticas. Tais esferas

possuem, inicialmente, cargas elétricas iguais a $+q$ e $-3q$.

As esferas são subitamente conectadas por um fio

condutor fino, que é então removido. Nas duas situações,

todo o sistema está imerso no vácuo. Considerando tais

circunstâncias, assinale a alternativa que representa

serem colocadas em contato.

I. Garfield, ao esfregar suas patas no carpete de lã,

A) adquire carga elétrica. Esse processo é conhecido
como eletrização por atrito.

antes depois

II. Garfield, ao esfregar suas patas no carpete de lã,
adquire carga elétrica. Esse processo é conhecido
como eletrização por indução.

B)

III. O estalo e a eventual faísca que Garfield pode
antes depois

provocar, ao encostar em outros corpos, são devidos
à movimentação da carga acumulada no corpo do
gato, que flui de seu corpo para os outros corpos.

C) Está(ão) **CERTA(S)**

antes depois A) I, II e III.

B)
I e
II.

C)
I e
III.

D) D) II e III.

Frente D Módulo 01

09. (FUVEST-SP) Aproximando-se uma barra eletrizada de **11.**
(UEM-PR-2008) O diagrama a seguir ilustra três esferas

duas esferas condutoras, inicialmente descarregadas e neutras de metal, x, y e z, em contato entre si e sobre uma

encostadas uma na outra, observa-se a distribuição de superfície isolada. Assinale a alternativa cujo diagrama

MELHOR representa a distribuição de cargas das esferas

cargas esquematizada na figura a seguir.

quando um bastão carregado positivamente é aproximado

+ da esfera x, mas não a toca. + + -- + + + - x y
z + + - + + - + + — + + + - + +

Em seguida, sem tirar do lugar a barra eletrizada, afasta-se

um pouco uma esfera da outra. Finalmente, sem mexer x y x A) + z
D) y z + + + - + - + - + --- + + mais nas esferas, move-se a barra,
levando-a para muito + + - + - + - + --- + + + longe das esferas.
Nessa situação final, a alternativa que + +

MELHOR representa a distribuição de cargas nas duas

esferas é: x y x y z B) z E)

A) -- + + + + + + + ----- + ----- + + - + + - + + D) - + + + +
+ + ----- + - - - + - + +
- - + + - + + + - + + + + -

B) --- + + - - + + + E) + + + + - - + + + + + + + + - - + + + - - + +
+ + + + + + + - - - + + + + + + + + C) x y z + C) + + + + + + + -
+ - + - + + + + - + - + - + + + + + + + + + + +

10. (FUVEST-SP–2008) Três esferas metálicas, M₁, M₂ e M₃,
de mesmo diâmetro e montadas em suportes isolantes, 12. (UFF-
RJ–2010) A figura representa quatro esferas
metálicas idênticas penduradas por fios isolantes
estão bem afastadas entre si e longe de outros objetos.
elétricos.

Q Q

M₁ M₂ M₃ 1 2 3 4

O arranjo está num ambiente seco e as esferas estão
Inicialmente, M₁ e M₂ têm cargas iguais, com valor Q, M₃ inicialmente
em contato umas com as outras. A esfera 1
e M₃ está descarregada. São realizadas duas operações, M₂ é carregada
com uma carga elétrica +Q.
na sequência indicada. Escolha a alternativa que representa a
configuração do
I. A esfera M₁ sistema depois de atingido o equilíbrio. é aproximada
de M₂

até que ambas

fiquem em contato elétrico. A seguir, M A) D) ₁ é afastada até retornar à sua posição inicial.

II. A esfera M é aproximada de M até que ambas _{3 2}

fiquem em contato elétrico. A seguir, M é afastada _{3 1 2 3 4}
_{1 2 3 4} até retornar à sua posição inicial.

B) E)

Após essas duas operações, as cargas nas esferas serão
cerca de

M M M _{1 2 3}

A) _{1 2 3 4} _{1 2 3 4} $Q/2$ $Q/4$ $Q/4$

B) $Q/2$ $3Q/4$ $3Q/4$ C)

C) $2Q/3$ $2Q/3$ $2Q/3$

D) $3Q/4$ $Q/2$ $3Q/4$

E) Q zero Q

1
2
3
4

78 Coleção Estudo

Eletrização

13. (UFMG) Um eletroscópio acha-se induzido, conforme a **15.**
(UFAL-2009) Uma pequena esfera condutora E possui

figura. inicialmente carga Q . Tal esfera é posta em contato com

+ outra esfera idêntica a ela, porém inicialmente neutra.

+ + Quando o equilíbrio eletrostático é atingido, as esferas são + - + -----

+ E

separadas. Esse processo ocorre N vezes em sequência, sempre colocando a esfera E em contato com uma outra esfera idêntica a ela, porém neutra, e afastando-as após o equilíbrio eletrostático ser atingido. Todo o processo ocorre no vácuo. No final, a esfera E possui carga $Q/128$.

L

+ A) 5. + + + + O valor de N é

+

B)

7.

C)

32.

Ligando a esfera E à Terra, por meio de um fio condutor, D) 64.

observa-se que as lâminas L se fecham completamente

E)

128.

porque

A) cargas positivas de L sobem e neutralizam a

esfera E. **Seção ENEM**

B) cargas positivas de E descem e neutralizam L.

C) cargas negativas de E escoam para a Terra, e cargas

positivas sobem para E. **01.** Durante o voo, devido ao atrito com o ar,
as abelhas

se eletrizam positivamente. Ao pousar em uma flor, **SICA**

D) cargas negativas da Terra movem-se para o **Fí**

o corpo de uma abelha induz uma separação de cargas
eletroscópio, neutralizando as lâminas.

elétricas nos grãos de pólen da flor. Nessa condição,

E) cargas de E e de L escoam para a Terra.

os grãos, apesar de continuarem neutros, são atraídos

14. eletricamente pela abelha, e muitos saltam para o corpo (Fatec-
SP–2008) Três esferas condutoras idênticas, A, B e C,

estão sobre tripés isolantes. A esfera A tem inicialmente do inseto.

carga elétrica de $6,4 \mu\text{C}$, enquanto B e C estão neutras. De acordo
com o texto anterior, é correto afirmar que os

grãos de pólen, depois que chegam à abelha,

A B C A) se eletrizam negativamente, aderindo ainda mais

ao corpo do inseto, que, eletrizado positivamente,

aumenta a atração elétrica sobre os grãos.

B) continuam neutros, com a mesma separação de

cargas, de maneira que a força de atração elétrica

Encostam-se as esferas A e B até o equilíbrio eletrostático do inseto

sobre os grãos continua existindo.

e separam-se as esferas. Após isso, o procedimento

C) continuam neutros, mas a separação de cargas

é repetido, desta vez feito com as esferas B e C.

Sendo a carga elementar $1,6 \times 10^{-19}$ C, o número total -19 desaparece, de maneira que a força de atração elétrica

entre o inseto e os grãos desaparece.

de elétrons que, nessas duas operações, passam de uma

esfera a outra é D) se eletrizam positivamente, e são repelidos

A) $1,0 \times 10^{13}$. eletricamente pelo inseto, que os retém através de

B) $2,0 \times 10^{13}$ cerdas que revestem o seu corpo. .

C) $3,0 \times 10^{13}$. E) se eletrizam positivamente, e são repelidos

D) $4,0 \times 10^{13}$ eletricamente pelo inseto, caindo na terra logo depois
13 .

E) $8,0 \times 10^{13}$.

13 que tocam no corpo do inseto.

Editora Bernoulli 79

Frente D Módulo 01

02. O eletroscópio é um dispositivo usado para detectar

GABARITO

se um corpo está eletricamente carregado e, em

determinadas situações, pode ser útil para descobrir

o sinal da carga desse corpo. O primeiro eletroscópio

Fixação

de que se tem notícia foi inventado por William Gilbert

01.
C

(1544-1603). Atualmente, o eletroscópio de folhas é

bastante utilizado. Tal dispositivo consiste, basicamente, 02. E

de uma esfera condutora presa a uma haste condutora, 03. C

que tem na extremidade inferior duas folhas metálicas

04.
E

leves e flexíveis.

05.
D

Considere um eletroscópio previamente eletrizado com

carga $-Q$, de forma que todo o seu corpo (esfera, haste

Propostos

e folhas) apresente cargas negativas em excesso. Dessa

forma, as folhas do eletroscópio estão afastadas por 01. A

repulsão elétrica. À medida que um objeto metálico, 02. D

carregado positivamente, com carga $+Q$, se aproxima 03. B

da esfera do eletroscópio, sem tocá-la, as suas folhas se

04.
B

fecham cada vez mais. Isso acontece porque

A) o objeto atrai parte das cargas negativas que estão nas folhas do eletroscópio, essas sobem para a esfera e, 06. D
dessa forma, a quantidade de cargas negativas nas 07. C
folhas diminui. 08. C

B) o objeto repele parte das cargas positivas da esfera 09. A
metálica, essas descem para as folhas e, dessa forma,

10.
B

vão neutralizando as cargas negativas ali existentes.

11.
D

C) a carga total do sistema (eletroscópio-objeto) é igual

12.
C

a zero e, pelo Princípio de Conservação das Cargas,
a carga do eletroscópio deve tender a zero. 13. D

D) as cargas negativas do eletroscópio vão se transferindo, 14. C
gradualmente, para o objeto metálico e, dessa forma, 15. B

a quantidade de cargas nas folhas diminui. **Seção**
Enem

E) as cargas positivas do objeto metálico vão se
transferindo, gradualmente, para o eletroscópio e, 01. D
dessa forma, vão anulando as cargas contidas nas

folhas, que tendem a se fechar.

80 Coleção Estudo

Física MÓDULO FRENTE Força elétrica

02 D

Você sabe que é difícil erguer um saco de 60 kg do chão. Ele Veja os gráfi cos a seguir.

é muito “pesado”. Para levantá-lo, temos de vencer o seu peso

(que é uma força gravitacional). Força elétrica em Força elétrica em

função do módulo do função da distância

Neste módulo, serão estudadas as forças elétricas. Afi nal de produto das cargas entre as cargas

contas, quem é maior? As forças elétricas ou as gravitacionais? F F

Charles de Coulomb foi o primeiro cientista a estabelecer uma relação quantitativa para a força elétrica que atua em corpos eletrizados. Coulomb realizou medições das forças elétricas que atuavam sobre cargas puntiformes, ou pontuais (objetos carregados de tamanhos desprezíveis em comparação à distância entre eles). $|Q \cdot Q| r_{12}$

Ele conseguiu determinar a relação entre a força elétrica Coulomb chegou à seguinte expressão para determinar o

e as demais variáveis, devido ao uso de uma balança de alta módulo da força elétrica: precisão. Tal instrumento, chamado balança de torção, será

explicado mais adiante.

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

r²

A LEI DE COULOMB Na equação, K, que vamos chamar de constante da Lei de Coulomb, depende do meio no qual as cargas se encontram.

Naturalmente, esse meio tem de ser dielétrico. Caso contrário,

Q os objetos eletrizados perderiam sua carga elétrica através dele. e Q , separadas por uma distância r. 1 A figura a seguir representa duas cargas pontuais de valores

2

O vácuo é o meio que permite a **maior** força elétrica entre

F Q Q 12 F duas cargas, e a sua constante, chamada K , vale:
21 12 0

$$+ +$$

$$K_{90} = 9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

$$_1 F - +$$

$$_{21} F_{12} = \frac{K Q_1 Q_2}{r^2}$$

A quantidade de carga elétrica contida em objetos eletrizados

r⁻⁶ muito pequena. Ela é da ordem de 10 do nosso cotidiano (por atrito, por contato ou por indução) é C a 10⁻³ C. Por outro

a carga Q_1 nela, F_{21} lado, a quantidade de carga que passa através de aparelhos é o módulo da força que a carga Q_2 exerce sobre a carga Q_1 . elétricos usuais é enorme. Um chuveiro elétrico, funcionando 20 minutos, é percorrido por uma quantidade de carga sobre a carga Q_1 que varia de 24 000 C a 60 000 C.

Essas duas forças constituem um par de **ação e reação** e por isso, apresentam, sempre, o mesmo módulo, a mesma direção e Assim, é usual trabalhar com múltiplos e submúltiplos dessa sentidos opostos. Observe que a afirmação vale mesmo que as grandezas sejam diferentes. A tabela a seguir fornece os mais usuais deles.

partículas tenham cargas de valores diferentes. Assim, vamos

estabelecer que o módulo dessas forças vale **F**. **Nome Potência de 10 Símbolo**

Coulomb concluiu que duas cargas puntiformes (ou pontuais) **mega** 10^6 **M**

se atraem (ou se repelem) com uma força cujo módulo **quilo** 10^3 **k**

mili 10^{-3} **m**



1. é diretamente proporcional ao módulo do **produto** **micro** 10^{-6} **μ**



das cargas;



2. Para se obter uma força elétrica expressa em N (newton), é inversamente proporcional ao **quadrado da**



é necessário que os módulos das cargas estejam expressos



distância entre elas.



em C
(coulomb).



Editora Bernoulli **81**

Frente D Módulo 02

Sabemos que um pente eletrizado pode atrair pedacinhos Na sala de aula ou em sua casa, o pêndulo pode ter apenas a

neutros de papel, por exemplo. Como surge essa atração? Veja esfera e o cordão, que você pode segurar com a mão. a seguir.

O pêndulo elétrico, conforme mostrado, funciona como

Primeiro, o pente polariza o papel, conforme mostrado na eletroscópio em duas situações. Vamos aproximar dele um objeto B,

fi gura a seguir (fi guras fora de escala). que pode ou não estar eletrizado, e analisar o que acontece

com a esfera do pêndulo. A partir daí, você nos ajuda a chegar

às
conclusões
possíveis.

A esfera do pêndulo está

Assim, duas forças de origem elétrica aparecem no papel:

descarregada

1. uma de atração (F_A), na parte mais próxima ao pente; **1.^a situação:**

2. outra de repulsão (F_R), no lado oposto. R

$$q = 0$$

$$Q F F +$$

$$+ + + + + + + + + + + + A R + + + + B$$

$$r q = 0 A$$

$$I R$$

A distância entre o pente e a região de atração é menor do que Observe que a esfera não foi atraída pelo objeto B. Assim, você

a distância entre o pente e a região de repulsão. Por isso, F_A acha que o objeto está eletrizado? Acho que não está, concorda? $F_A > F_R$.

Dessa forma, o papel sofre ação de força elétrica resultante de 2.^a

situação: atração para o pente, mesmo que a sua carga seja igual a zero.

De acordo com a 3ª Lei de Newton (Ação e Reação), sobre o pente também atua uma força elétrica resultante de atração, direcionada para o papel.

B

$q = 0$



Observe que surgiu uma informação nova: é possível



haver atração entre um objeto eletrizado e um objeto



neutro (descarregado). Veja, agora, que a esfera se aproximou do objeto. Isso só



pode acontecer se ela, ao ser induzida (ou polarizada), receber

Agora, podemos falar em pêndulo elétrico, que é um outro uma força de atração maior que a de repulsão.

tipo de eletroscópio. No segundo caso, podemos concluir que o objeto B está

O pêndulo elétrico usado em laboratório é formado por Isso **não** é possível saber. Sendo positivo ou negativo, o objeto **carregado**, não é mesmo? E qual é o sinal da carga do objeto B?

1. provoca uma indução (polarização) na esfera e, assim, surge uma esfera, de preferência condutora (mas que pode,

também, ser isolante), que deve ter peso pequeno. uma força resultante de atração entre os corpos.

Quanto mais leve a esfera,
maior a sensibilidade do A
esfera do pêndulo está aparelho;

2. uma haste em forma de L e uma base para apoiá-la com
eletrizada com uma carga (q) de
estabilidade; **sinal conhecido**

3. um cordão que prende a esfera à haste, que tem de ser

isolante. 1.^a situação:

A figura a seguir mostra um típico eletroscópio de pêndulo. Note que o fio está na vertical, o que significa que não existe força horizontal sobre ele.

q B

A esfera foi repelida pelo objeto. Isso quer dizer que a esfera e o objeto têm cargas de mesmo sinal. Como sabemos o sinal da carga da esfera, descobrimos o sinal da carga do objeto.

82 Coleção Estudo

Força elétrica

2.^a situação: Esse é um dos motivos de os compostos iônicos (cujos aglomerados iônicos, ou redes iônicas, são formados por íons, cátions e ânions, unidos por interações eletrostáticas de alta intensidade), de modo geral, serem facilmente dissolvidos em água. Quando colocados nessa substância, a intensidade das forças de ligações internas entre os íons diminuem bastante e ocorre a destruição da rede iônica, originando íons livres. Procure o seu professor de Química para maiores informações a respeito (forças entre os íons do composto e entre os íons positivos e negativos com as moléculas de água).

A esfera foi atraída pelo objeto. Isso garante que o objeto está carregado com carga de sinal oposto ao da esfera? **Não**, pois

ele pode estar descarregado e, ao ser induzido ou polarizado, **A**
LEI DE COULOMB E A LEI DA

surge a força de atração entre ele e a esfera. Agora, se você **GRAVITAÇÃO** tem certeza de que o objeto também está eletrizado, podemos

concluir que a sua carga e a da esfera são de sinais contrários.

Cuidado com a situação da figura anterior. A Lei da Gravitação Universal, que você vai estudar mais

adiante, foi desenvolvida por Newton um século antes da Lei de Coulomb. Newton percebeu que duas massas

A CONSTANTE DIELÉTRICA (de objetos pontuais ou esféricos) se atraem por uma força que é diretamente proporcional ao produto das massas e

DO MEIO inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros, ou seja:

Todos os meios materiais e dielétricos apresentam constante da Lei de Coulomb **menor** que a do vácuo. $M M F = G_{12} r^2$

Chamamos de **constante dielétrica do meio (C)** a razão

entre a constante da Lei de Coulomb no vácuo e essa constante

FÍSICA

A constante (G) tem um valor igual a:

no referido meio, ou a razão entre a força elétrica entre duas

cargas no vácuo (F_0) e a força elétrica entre essas cargas naquele

$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ meio (F), ou seja:



$C K F_0 =$ Saiba que os valores dessas constantes **não** precisam ser memorizados por você.



K F



Apesar da **semelhança** estrutural existente entre as leis

Na tabela a seguir, apresentamos meios dielétricos e a sua de Newton e de Coulomb, destacamos aqui duas importantes

constante dielétrica aproximada. **diferenças** entre elas:

1. A força elétrica pode ser **atrativa** ou **repulsiva**,

Meio material enquanto a força gravitacional é sempre atrativa; **Constante dielétrica**

2. A constante K **depende** do meio, enquanto a constante G

Vácuo 1 é **independente** dele, ou seja, o seu valor é o mesmo
em qualquer lugar do Universo.

Ar 1,0005

Apesar de tais diferenças, essas forças apresentam uma

Vidro 4,5 semelhança importante. As forças entre dois corpos,
sejam

Glicerina elétricas ou gravitacionais, são **independentes** da
existência 43

de outros corpos nas proximidades.

Água 80

Considere dois objetos exercendo forças entre si.

Na primeira situação, os objetos exercem forças elétricas (F_E)

Note que a constante dielétrica do ar é praticamente igual a 1. um
sobre o outro. Na segunda situação, as forças exercidas são

Isso indica que as forças elétricas entre cargas no vácuo e no
gravitacionais (F_G). ar têm, praticamente, o mesmo valor.

é grande (80). Isso significa que duas cargas elétricas **Observe,**
ainda, como a constante dielétrica da
água $F_Q Q_{12} F_E + +_E$

mergulhadas na água exercem entre si forças elétricas $M_2 M_1$ 80 vezes
menores do que aquelas que seriam exercidas caso as $F F_{GG}$ cargas
estivessem no vácuo (ou no ar).





Frente D Módulo 02

Se uma terceira carga (ou massa) for colocada em qualquer F (10₂ N)

lugar próximo aos objetos, as forças que os dois anteriores exercem, entre si, não serão alteradas. 32

$$F_{Q_1 Q_2} F_{Q_2 Q_3} F_{Q_1 Q_3} + - +_{E 8,0}$$

M₁ M₂ 3,6 2 r (cm) 1,0 1 2,0 3,0 F₁₂ F₂₃ F₁₃ M_{G 3} Esse gráfico corresponde a uma curva semelhante a uma



hipérbol
(F
α
1/
r₂).

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS 03. Duas cargas puntiformes positivas, de módulos

$Q_1 = 10 \mu\text{C}$ e $Q_2 = 40 \mu\text{C}$, estão fixas e separadas por $1,230 \text{ cm}$. Determinar a posição, na linha que une essas

duas, na qual uma terceira carga q , negativa, deverá ser

01. colocada, para ficar em equilíbrio sob as ações das forças Em 1913, Niels Böhr propôs um modelo para o átomo



de hidrogênio. No modelo, ele considerou que apenas elétricas exercidas por Q_1 e por Q_2



a força elétrica entre próton e elétron faria o papel de **Resolução:**

forças gravitacional (q força centrípeta para o elétron. Calcular os valores das $Q_1 = 10 \text{ C}$ $Q_2 = 40 \text{ C}$ F_1 F_2 μ μ

F_e) e elétrica (F_g) que existem entre Q_1 e Q_2

o próton e o elétron no átomo de hidrogênio. Sejam: $+ - +$

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (módulo da carga do elétron e do próton)

$m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ e $m_p = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ (massas do e do próton, respectivamente) O único local possível para o

elétron e do próton, respectivamente) O único local possível para o

equilíbrio de q é entre as cargas

$r = 5,3 \times 10^{-11} \text{ m}$ (distância entre o próton e o elétron) Q e Q . Ela sofrerá forças de atração F de Q e F de Q .

1 1 1 2 2 2

Resolução: Chamando a distância entre q e Q de x, podemos escrever

que:

$$\begin{aligned} & \text{O valor da força elétrica será: } K Q q . \\ & . K Q q . . 1 2 F 1 6 , x 10 . 1,6 x 10^{-19} - 19 \\ & = 0 \Rightarrow F = F \Rightarrow = R 1 2 X 2 \left({}_2 F 9 E = x 10 . 9 8 \right. \\ & \left. 2 8 - 11 2 2 = , x 10 \text{ N} - 30 - x \right) (, 5 3 x 10) \end{aligned}$$

O valor da força gravitacional pode ser calculado como:
Simplificando e substituindo os valores, a equação fica:

$$\begin{aligned} & F - - 11 47 2 2 9 1 - 31 - 27 2 , x 10 . 1,7 x 10^2 \\ & = 40 10_G = 6 7 , x 10 . = 3 7 , x 10 \\ & \Rightarrow 4x = (30 - x) \text{ N } x ((, 5 3 x 10 - - 11 2) 30 - x) \end{aligned}$$

Dessa forma, a força elétrica é muitas vezes (cerca de 10^{39}) A única solução possível para essa equação é $x = 10 \text{ cm}$.

maior que a força gravitacional entre o próton e o elétron. Fica de “Para casa” você provar que

Você acha que, em seu modelo, Böhr cometeu algum erro A) se q fosse positiva, a solução seria a mesma;

relevante ao desprezar a força gravitacional? B) é impossível q permanecer em equilíbrio do lado

direito de Q ou do lado esquerdo de Q . 2 1

02. Duas cargas positivas, $Q = 4,0 \mu\text{C}$ e $Q = 9,0 \mu\text{C}$, 1 2

encontram-se no vácuo e separadas por uma distância r .

CoNCLUSão

Calcular a força elétrica que elas exercem entre si para

$r = 1,0 \text{ cm}$, $2,0 \text{ cm}$ e $3,0 \text{ cm}$. Utilizar os valores para Você viu que, no caso do exercício resolvido 01, a força

construir o gráfico da força entre as cargas em função elétrica é muito maior do que a força gravitacional. Agora, vamos

da distância entre elas. responder à pergunta do início do módulo.

Resolução: A constante da Lei de Coulomb (K) é próxima de 10_{10} ,

Para $r = 1,0 \text{ cm}$ e a constante de gravitação (G) é da ordem de 10_{10} .

9 Então, a razão entre elas é aproximadamente 10_{20} .

$F = 290, \times 10^{-6} \text{ N}$, $40 \times 10^{-6} \text{ N}$, $90 \times 10^{-6} \text{ N}$ (2 – Imagine dois objetos eletrizados que possuem massa. Se o 10^{-2} kg produto das suas massas (em kg) for maior do que 10_{20} vezes

$F = 3,2 \times 10_{32} \text{ N}$ o produto de suas cargas (em C), a força gravitacional será

Para $r = 2,0 \text{ cm}$, a força será 4 vezes menor do que a maior. Caso contrário, a força elétrica é a maior delas.

força para $r = 1,0 \text{ cm}$. Assim, $F = 8,0 \times 10_{22} \text{ N}$. Assim, a força elétrica tende a ser maior do que a gravitacional,

Para $r = 3,0 \text{ cm}$, a força será 9 vezes menor do que a a não ser que,

pelo menos, uma das massas envolvidas seja

força para $r = 1,0 \text{ cm}$. Logo, $F = 3,6 \times 10^2 \text{ N}$. muito grande. Como a massa da Terra é enorme, o saco de

O gráfico F versus r está representado a seguir: 60 kg é muito pesado.

84 Coleção Estudo

Força elétrica



LEITURA CoMPLEMENTAR



A balança de torção



As forças elétricas entre os objetos que Coulomb usou, em A figura a seguir mostra a haste e as esferas para o fio



1785, para determinar a lei que leva o seu nome, eram muito sem nenhuma torção.



pequenas. Para conseguir medições de valores precisos e



confiáveis, ele utilizou uma balança capaz de oferecer a precisão



de que necessitava.



Você estudou, na 1ª série do Ensino Médio, que uma mola,



comprimida ou distendida, exerce uma força elástica que é



proporcional à sua deformação. O mesmo acontece quando você



torce um fio de *nylon*, por exemplo. Nesse caso, a força exercida Q_1



pelo fio é proporcional ao ângulo de torção.



A balança utilizada por Coulomb era formada por duas esferas,
Em seguida, ele introduzia a esfera (Q_2) pelo orifício,



pequenas, condutoras e de mesma massa, presas a uma haste



esperava o sistema entrar em equilíbrio e media o ângulo
isolante suspensa, pelo centro, por um fio dielétrico que se
prendia

de torção do fio. A figura seguinte mostra uma situação de
à parte superior do instrumento. A haste, o fio e as esferas
equilíbrio.

fiavam dentro de um recipiente (transparente) para evitar que

agentes externos influenciassem as medições. Vamos analisar a

FÍSICA



experiência de forma simplificada.



Ele eletrizava uma das esferas, por contato, com um objeto

eletrizado, com carga conhecida de valor Q , através de orifícios 1 e 2 na parte superior do recipiente.



Disco



graduado

Variando-se os valores das cargas Q_1 e Q_2 e mantendo sempre a mesma distância entre elas, ele media os novos



ângulos de torção. Utilizando o fato de que a força que o fio o



Fio de

torção exerce sobre a haste é proporcional ao ângulo de torção e observando que essa força possui a mesma intensidade da força elétrica, Coulomb chegou à conclusão de que a força elétrica é proporcional ao módulo do produto das cargas.



carregadas



Repetindo-se a experiência para as mesmas cargas, mas variando a distância entre elas, Coulomb também percebeu que a força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da

da
distância.



Simples e, também, interessante. Você não acha?





Frente D Módulo 02

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO 03. (PUC Rio–2007) Duas partículas de carga elétrica Q e massa M são colocadas sobre um eixo e distam de 1,0 m.

01. (UNIFESP-SP) Uma estudante notou que, ao colocar Podemos dizer que

sobre uma mesa horizontal três pêndulos eletrostáticos A) a força de interação entre as partículas é nula.

idênticos, equidistantes entre si, como se cada um

B) as partículas serão atraídas pela força coulombiana

ocupasse o vértice de um triângulo equilátero, as

e repelidas pela força gravitacional.

esferas dos pêndulos se atraíam mutuamente.

Sendo as três esferas metálicas, a estudante poderia C) as partículas serão repelidas pela força coulombiana

concluir **Corretamente** que e repelidas pela força gravitacional.

A) as três esferas estavam eletrizadas com cargas de D) as partículas serão atraídas pela força coulombiana

mesmo sinal. e atraídas pela força gravitacional.

B) duas esferas estavam eletrizadas com cargas de E) as partículas serão repelidas pela força coulombiana

mesmo sinal e uma com carga de sinal oposto. e atraídas pela força gravitacional.

C) duas esferas estavam eletrizadas com cargas de

mesmo sinal e uma neutra. 04. (UFF-RJ-2008)

Numa experiência de eletrostática

D) duas esferas estavam eletrizadas com cargas de sinais realizada no laboratório didático do Instituto de Física

opostos e uma neutra. da UFF, duas bolas idênticas são penduradas por fio

E) uma esfera estava eletrizada e duas neutras. isolantes muito finos a uma certa distância uma da outra.

02. Elas são, então, carregadas eletricamente com

(UFMG-2007) Em seu laboratório, o professor Ladeira

quantidades diferentes de carga elétrica de mesmo sinal:

prepara duas montagens – I e II –, distantes uma da

a bola I recebe 8 unidades de carga e a bola II recebe 2

outra, como mostrado na figura 1.

unidades
de
carga.

Em cada montagem, duas pequenas esferas metálicas,

idênticas, são conectadas por um fio e penduradas em um suporte isolante. Esse fio pode ser de material isolante ou condutor elétrico. Escolha o diagrama que representa **Corretamente** as

forças de interação entre as bolas.

ou condutor elétrico.

Em seguida, o professor transfere certa quantidade de carga para apenas uma das esferas de cada uma das A) montagens.

B)

Ele, então, observa que, após a transferência de carga, as esferas ficam em equilíbrio, como mostrado na figura 2.

C)

Figura 1

D)

E)

I III

05. (PUC-SP) Três cargas puntiformes $+Q$, $-Q$ e $+Q$ estão fixas

Figura 2 nos vértices A, B e C de um quadrado, conforme a figura.

A B $+Q$ $-Q$

I III

Considerando-se essas informações, é **Correto** afirmar que, após a transferência de carga,

A) em cada montagem, ambas as esferas estão $+Q$ e C carregadas.

B) em cada montagem, apenas uma das esferas está abandonando

uma quarta carga $+Q$ no vértice D, ela

carregada. A) se desloca na direção DC, afastando-se de Q.

C) na montagem I, ambas as esferas estão carregadas e, B) se desloca na direção DA, aproximando-se de Q.

na II, apenas uma delas está carregada. C) permanece em equilíbrio.

D) na montagem I, apenas uma das esferas está D) se desloca na direção DB, afastando-se de $-Q$.

carregada e, na II, ambas estão carregadas. E) se desloca na direção DB, aproximando-se de $-Q$.

86 Coleção Estudo

Força elétrica

EXERCÍCIOS PROPOSTOS 04. (UFMG)

Considere a situação descrita a seguir.

01. (UEL-PR) Considere a Lei de Coulomb, relativa à força

entre cargas elétricas em repouso, e a Lei da Gravitação

de Newton, relativa à força entre massas. Em relação a

essas duas leis, é **CoRReto** afirmar que Anel de plástico Anel de cobre

A) na Lei de Coulomb, as forças podem ser do tipo Em uma aula, o prof. Antônio apresenta uma montagem

atrativas ou repulsivas. com dois anéis dependurados, como representado na

B) na Lei da Gravitação, as forças são sempre do tipo figura anterior. Um dos anéis é de plástico – material

repulsivas. isolante – e o outro é de cobre – material condutor.

C) na Lei de Coulomb, as forças são sempre do tipo Inicialmente, o prof. Antônio aproxima um bastão

eletricamente carregado do anel de plástico e, depois, atrativas.

do
anel
de
cobre.

D) na Lei da Gravitação, as forças podem ser do tipo

Com base nessas informações, é **CoRRTo** afirmar que atrativas ou repulsivas.

E) na Lei de Coulomb, as forças são sempre do tipo A) os dois anéis se aproximam do bastão.

repulsivas. B) o anel de plástico não se movimenta e o de cobre se afasta do bastão.

02. (UFMG) Aproximando-se um pente de um pedacinho de C) os dois anéis se afastam do bastão.

papel, observa-se que não há força entre eles. No entanto, D) o anel de plástico não se movimenta e o de cobre se

ao se passar o pente no cabelo e, em seguida, aproximá-lo aproxima do bastão.

do pedacinho de papel, este será atraído pelo pente.

05. (FMTM-MG) Nos vértices do triângulo equilátero ABC da

Sejam F e F os módulos das forças eletrostáticas (pente) (papel) figura, são fixadas três cargas elétricas puntiformes e de **SICA**

que atuam, respectivamente, sobre o pente e sobre o mesmo sinal. A força elétrica resultante sobre a carga A será F_1 papel.

A

Com base nessas informações, é **Correto** afirmar que

A) o pente e o papel têm cargas de sinais opostos e

$$F_{BC(\text{pente})} = F_{(\text{papel})}.$$

B) o pente e o papel têm cargas de sinais opostos e A) nula, pois encontra-se equidistante das cargas B e C.

$F > F_{(\text{pente})}$ B) vertical para cima, somente se as cargas forem

C) o pente está eletricamente carregado, o papel está positivas.

eletricamente neutro e $F = F_{(\text{pente})}$ C) vertical para baixo, somente se as cargas forem (pente) (papel)

negativ

D) o pente está eletricamente carregado, o papel está

eletricamente neutro e $F_{(\text{pente})}$ D) vertical para cima, qualquer que seja o sinal das $> F_{(\text{papel})}$

cargas.

03. E) vertical para baixo, qualquer que seja o sinal das (PUC Rio-2010) Três cargas elétricas estão em

equilíbrio ao longo de uma linha reta, de modo que uma cargas.

carga positiva (+Q) está no centro e duas cargas

negativas (-q) e (-q) estão colocadas em lados opostos **06.** (PUC Rio-2009) Dois objetos metálicos esféricos idênticos,

e à mesma distância (d) da carga Q. Se aproximarmos contendo cargas elétricas de 1 C e de 5 C, são colocados

as duas cargas negativas para d/2 de distância da carga em contato e depois afastados a uma distância de 3 m.

Considerando a constante de Coulomb $K = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$,

positiva, qual o valor de Q (o valor final será Q'), de modo

que o equilíbrio de forças se mantenha? podemos dizer que a força que atua entre as cargas após

o contato e o afastamento é

A) $Q' = Q$ A) atrativa e tem módulo $3 \times 10 \text{ N}$.

B) $Q' = 2Q$

B) atrativa e tem módulo $9 \times 10 \text{ N}$.

C) $Q' = 4Q$ C) repulsiva e tem módulo $3 \times 10 \text{ N}$.

D) $Q' = Q/2$ D) repulsiva e tem módulo $9 \times 10 \text{ N}$.

E) $Q' = Q/4$ E) zero.

Editora Bernoulli 87

Frente D Módulo 02

07. Após tocar o bastão, o pêndulo voltou a sofrer repulsão (UFMG) O arranjo de cargas puntiformes fixas nos vértices

de um quadrado que poderia ter força resultante nula (etapa III). A partir dessas informações, considere as

sobre uma das cargas é seguintes possibilidades para a carga elétrica presente

A) + na esfera do pêndulo: +

--

1 Neutra Negativa Neutra

B) + + 2 Positiva Neutra Positiva

+ 3 Negativa Positiva Negativa +

C) 4 Positiva Negativa Negativa - +

5 Negativa Neutra Negativa

+ -

Somente pode ser considerado **VERDADEIRO** o descrito

D) + nas possibilidades -

A)
1 e
3.

- B) 1 e 2. -

C)
2 e
4.

E) -- D) 4 e 5.

E)
2 e
5.

--

10. (PUC Rio-2009) Duas esferas idênticas, carregadas com

08. cargas $Q = 30 \mu\text{C}$, estão suspensas a partir de um mesmo (UFPE-2007) Quatro cargas elétricas puntiformes, de

intensidades Q e q , estão fixas nos vértices de um ponto por dois fios isolantes de mesmo comprimento,

quadrado, conforme indicado na figura. Determine a razão como mostra a figura a seguir. Em equilíbrio, o ângulo θ ,

Q/q para que a força sobre cada uma das cargas Q seja formado pelos dois fios isolantes com a vertical, é 45° .

nula. Sabendo que a massa de cada esfera é de 1 kg, que a

q Q 9×10^{-22} constante de Coulomb é $K = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ e que a

aceleração da gravidade é $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine a

distância entre as duas esferas quando em equilíbrio.

Lembre-se de que $\mu = 10^{-6}$.

Q/q

A) $2 - 4 \theta \theta$

5

B)

5

C) -12

A)

1,0

m

D) -2 B) $0,9 \text{ m}^{-12}$

C)

0,8

m

E) -4 D) $0,7 \text{ m}^{-12}$ E) $0,6 \text{ m}$

09. (UNESP-SP–2010) Um dispositivo simples capaz de **11.**
(Cesgranrio) Duas pequenas esferas A e B possuem a

detectar se um corpo está ou não eletrizado, é o pêndulo mesma
carga elétrica q e se repelem com uma força de

eletrostático, que pode ser feito com uma pequena esfera
intensidade F . No ponto médio da distância que as separa,

condutora suspensa por um fio fino e isolante. Um aluno, introduz-
se uma terceira carga elétrica q , conforme indica

ao aproximar um bastão eletrizado do pêndulo, observou a figura a
seguir.

que ele foi repellido (etapa I). O aluno segurou a esfera

A B

do pêndulo com suas mãos, descarregando-a e, então, ao q q

aproximar novamente o bastão, eletrizado com a mesma

A B

carga inicial, percebeu que o pêndulo foi atraído (etapa II). q q q

88 Coleção Estudo

Força elétrica

Assim, a resultante das forças elétricas que agem
sobre **14.** (UFMG) Observe a figura:

a esfera A passou a valer

A) $5F$. Q q

B) $4F$.

C) $3F$. + v +

D) $2F$. C

E) F .

12. Uma carga elétrica puntual $+Q$ encontra-se fixada

(UFMG) A figura apresenta cargas elétricas, q_1 , q_2 e q_3 ,

sobre uma mesa isolante, conforme mostrado na
fixas nos vértices de um quadrado.

figura. Um pequeno corpo C , eletrizado com uma carga
 q também positiva $+q$, é abandonado sobre a mesa, nas
proximidades de $+Q$. Em virtude da repulsão elétrica entre
as cargas, o corpo C se desloca em linha reta sobre a
mesa. Considere que a força resultante que atua sobre C é
 q q_{12} devido apenas à carga Q . Sendo a sua aceleração e v sua
velocidade, pode-se afirmar que, enquanto C se desloca,

As forças que a carga q exerce sobre as cargas q_1 , q_2 e q_3

são iguais em módulo. Podemos concluir que A) $|a|$ diminui e $|v|$
diminui.

A) $q_1 = q_3 > q_2$. B) $|a|$ diminui e $|v|$ aumenta.

B) $q_1 = q_2 = q_3$. C) $|a|$ aumenta e $|v|$ diminui.

C) $q_3 > q_2 > q_1$. D) $|a|$ aumenta e $|v|$ não varia.

D) $q < q < q$. $3 \ 2 \ 1$ E) $|a|$ não varia e $|v|$ aumenta.

E) $q = q < q$. $1 \ 3 \ 2$ **SICA**

13. (UFRRJ–2009) Nas ilustrações, as cargas Q , Q e Q são **15.**
 (CEFET-MG–2006) Três cargas, q , Q_1 e Q_2 , pontuais, tais idênticas
 (têm mesmo valor e mesmo sinal), estão fixas que **F**

$Q_1 = 5Q$, estão fixas nos vértices de um triângulo
 nas posições representadas e interagem somente por
 retângulo de catetos d e $2d$, como mostrado na figura

A) F_{AB} sobre a Q é F_{CA} o valor da força de Q_2 em q é expressa por D) F a
 resultante das forças das cargas Q a seguir. Sendo F a força exercida
 por Q_1 em q , então F e Q força coulombiana. A ilustração que
 representa **MELHOR**

$Q_1 \quad Q_2 \quad Q_3$

$F_{AB} \quad F_{BC}$

$Q_1 \quad Q_2 \quad Q_3$

$Q_1 \quad Q_2 \quad F_{RC}$

$2d$

B) F_{AB} F_{BC} F_{CA}

$Q_1 \quad Q_2 \quad F_{RC}$

d

$Q_1 \quad Q_2 \quad F_{RC}$

Q_C D) F . 3E)
F.

Editora Bernoulli 89

Frente D Módulo 02

SEção ENEM Nessa situação, o empuxo sobre cada esfera pode ser desprezado. Para essa nova situação de equilíbrio,

o
ângulo
entre
os
fios

01. A força elétrica, como a força gravitacional, diminui A) permanecerá igual a 90°, pois as forças elétricas que

com o inverso do quadrado da distância entre os corpos atuam nas esferas diminuem igualmente em cada

interagentes. A primeira depende do meio onde os corpos uma delas.

se acham, mas a segunda não. A interação elétrica B) permanecerá igual a 90°, pois as forças elétricas de

entre duas cargas de 1 C, situadas no ar e separadas de repulsão entre as esferas aumentam igualmente em

cada
uma
delas.

1 m, vale nove bilhões de newtons. Na água, esse valor

C) permanecerá igual a 90° , pois os pesos das esferas, é 81 vezes menor. A interação entre duas massas de

as forças elétricas entre elas e as trações nas cordas

1 kg, situadas em qualquer meio e separadas de 1 m, não terão seus valores alterados.

vale aproximadamente apenas um décimo do bilionésimo

D) ficará menor que 90° , uma vez que as forças elétricas

do newton. Enquanto a força gravitacional é sempre entre as esferas, que dependem da constante

atrativa, a força elétrica pode ser atrativa (por exemplo, dielétrica, vão diminuir.

entre um elétron e um próton) ou repulsiva (por exemplo, E) ficará maior que 90° , uma vez que as forças elétricas

entre dois elétrons ou entre dois prótons). entre as esferas, que dependem da constante

De acordo com as informações do texto anterior, dielétrica, vão aumentar.

é correto afirmar que **03.** Duas cargas, de mesmo módulo Q, estão fixas nos

A) a força elétrica entre dois corpos eletrizados é sempre vértices opostos de um quadrado imaginário e apoiadas

maior do que a força gravitacional existente entre sobre uma mesa. Um elétron é lançado da posição central

eles. do quadrado com velocidade de módulo v_0 , suficiente

B) a força elétrica que os prótons do núcleo de um átomo para que ele consiga deslocar-se, inicialmente, por

exercem sobre cada um dos elétrons desse átomo é uma distância pelo menos igual à metade da diagonal

repulsiva. do quadrado. Despreze quaisquer tipos de atrito.

C) a força elétrica de repulsão entre os prótons A alternativa na qual o elétron pode oscilar em torno de

aglomerados no núcleo de um átomo estável é muito sua posição inicial é

pequena. A) C) E)

D) a repulsão elétrica entre dois núcleos atômicos dobra M R M R M R + + +

de valor quando a distância entre os átomos dobra. v_0 v v_{00}

E) a atração elétrica entre íons opostos de um sal reduz

drasticamente de valor quando esse sal é jogado em + S N + - S N S N água.

02. B) D) M R Duas pequenas esferas de aço idênticas – mesmo peso e M R --

tamanho – encontram-se eletrizadas com cargas iguais v v_0 -- e suspensas por fios isolantes, que formam, entre si, na

situação de equilíbrio, um ângulo $\theta = 90^\circ$, conforme mostra -- + S N S N

a figura 1. O conjunto se acha sobre um reservatório

que contém um óleo isolante, cuja constante dielétrica GABARITO é cinco vezes maior que a constante dielétrica do ar.

Sabe-se que a constante (K) da Lei de Coulomb é Fixação inversamente proporcional à constante dielétrica do meio.

A seguir, as esferas são mergulhadas no óleo, conforme 01. D 02. C 03. E 04. B 05. D

mostra a figura 2. **Propostos**

01. A 04. A 07. C 10. B 13. A

02. C 05. D 08. D 11. A 14. B

$\theta = 90^\circ$ 03. A 06. D 09. E 12. E 15. E ?

**Seção
Enem**

Figura 1 Figura 2 01. E 02. D 03. C

90 Coleção Estudo **Física MÓDULO FRENTE**
Campo elétrico 03 D

Sabemos que, para puxar uma cadeira ou empurrar uma **A**
DEFINIÇÃO DE CAMPO

geladeira, precisamos colocar a
"mão na massa". Ou seja, temos

GRAVITACIONAL de fazer contato físico com o objeto sobre o qual queremos

exercer uma força. Atualmente, acredita-se que jamais vamos conseguir puxar a cadeira apenas com o olhar.

Considere dois satélites (1 e 2), de massas m_1 e m_2 ,

Então, como podem existir, por exemplo, forças elétricas e em órbita ao redor da Terra. Eles têm massas diferentes, mas forças gravitacionais sem que haja contato entre os objetos?

estão em uma mesma órbita, tendo distâncias iguais ao centro da Terra. Veja, neste módulo, como isso acontece.

da Terra. Sejam F_1 e F_2 as forças que a Terra exerce sobre eles

Primeiramente, devemos nos lembrar de como multiplicar um (e que os mantêm em órbita).
vetor por um escalar (n). Sempre que isso acontece, obtemos um outro vetor. Se o escalar (n) é **M**

A. positivo, o novo vetor terá a **mesma direção** e o mesmo sentido do vetor original.

1 2

B. negativo, o vetor obtido estará na **mesma direção**, F_1 e F_2 mas terá **sentido contrário** ao do vetor original.

OS CAMPOS GRAVITACIONAL E A

Terra cria em torno dela um campo gravitacional (chamado

ELÉTRICO de gravidade). Qual é o seu valor?

É possível falar de campo de forças, gravitacional ou elétrico, Se o satélite 1 tem massa maior do que o satélite 2, ele

de duas formas. Pode ser do ponto de vista do objeto que receberá, do campo, uma força proporcionalmente maior.

1. Ou seja, dividindo F por m e F por m , encontramos o mesmo 1 está produzindo (gerando) o referido campo; $1 \ 2 \ 2$

número, que é o valor do campo gravitacional (g), no local onde

2. quando colocado em uma região onde há um campo

se
encontram
os
satélites:

de forças, tendo propriedades específicas, sofre a ação

Imagine uma região do espaço. Se nela colocarmos um objeto desse campo. $F \ F_1 =_2 = \text{constante} = g \ m$
 $m \ 1 \ 2$

que possua massa ou carga elétrica, esse objeto vai criar, no

espaço à sua volta, um campo gravitacional ou um campo O campo gravitacional criado pela Terra (ou por qualquer outro

elétrico, respectivamente. Ou seja, a simples presença de massa objeto que tenha massa) pode ser obtido dividindo-se a força que

ou de carga elétrica naquela região faz com que nela apareça

ela exerce sobre um corpo, colocado em seu campo gravitacional, um campo de forças (1º ponto de vista).

pela massa desse corpo. Observe que a gravidade **não depende**

Agora, imagine que num certo local do espaço existe um
da massa do corpo que está sofrendo a sua ação (um corpo de
campo de forças e que um objeto foi levado para tal região.

Se for um campo gravitacional, um objeto que tem massa vai massa
maior recebe maior força).

sofrer, do campo, uma força de origem gravitacional. Sendo o Você
sabe como determinar a força gravitacional. Então,

campo elétrico, uma carga elétrica, lá colocada, sofre uma força
de origem elétrica (2º ponto de vista). vamos calcular o campo
gravitacional criado por um corpo

esférico de massa M em um ponto que está a uma distância r

Ou seja, surgem forças, gravitacionais ou elétricas, entre

do seu
centro:

massas ou cargas elétricas, respectivamente, mesmo à distância,

através dos campos de força que elas produzem no
espaço em M m . G torno delas. Dizemos, então, que existe uma
interação entre o F_2 r $g = g = G M = \Rightarrow$ campo e o objeto nele
colocado. Ou seja, o campo, em contato 2 m m r com o corpo, exerce
sobre este uma força.



A DEFINIÇÃO DE CAMPO

Da definição de campo, podemos escrever:

ELÉTRICO $F = q.E$

Considere uma carga Q , positiva, criando um campo. Essa é uma multiplicação de um vetor por um escalar. Assim, elétrico na região ao seu redor e uma outra carga q ($q > 0$), a força e o campo elétrico têm a mesma direção e, se a colocada em um ponto P desse campo. A força elétrica F

1. carga q é positiva, o **mesmo sentido**. que atua sobre a carga q será de repulsão, conforme mostra
2. carga q é negativa, **sentidos opostos**.

a figura. Concluímos, então, que o campo gerado por uma carga

Q + ponto, está na mesma direção da reta que o une à carga Q + **P positiva** Q , em um ponto à sua volta, começa nesse F

q e aponta em sentido oposto à carga Q . Ou seja, a carga positiva

Se trocarmos a carga q por uma $2q$, notamos que o módulo de gera um campo que, em cada ponto do espaço, se afasta dela.

força que atua sobre a carga $2q$ será $2F$. Para uma carga igual a Ao contrário, a carga **negativa** $-Q$ gera um campo na $3q$, o módulo de força será $3F$, e assim sucessivamente. Então, mesma direção da reta que a liga ao ponto, começa neste concluímos que a razão entre o módulo da força elétrica F e a carga q e aponta para a carga geradora. Tomando os exemplos colocada no campo é uma constante, para um dado ponto do das figuras anteriores e retirando-se as cargas (q e $-q$), campo elétrico. Podemos escrever que: o campo no ponto P continua a existir e está representado nas

Essa constante representa o valor do campo elétrico
 F fixas a seguir. $2 F 3 F = \dots = \text{constante} = E =$
 $= q_2 q_3 q_P E_Q + E_{\text{no}}$

ponto P. O campo elétrico é uma grandeza vetorial. Por isso, E a definição operacional de campo elétrico é: $-Q -$

P

$$E \square F \square$$



=



q CAMPO ELÉTRICO DE UMA

Destacamos duas observações
importantes: CARGA

PUNTI FoRME 1. A unidade de campo elétrico é o
newton por

coulomb (N/C). Um campo elétrico de módulo igual

Considere uma carga Q, pontual, criando um campo elétrico
a 200 N/C, por exemplo, indica que uma carga de 1 C

no espaço à sua volta e uma carga pequena q colocada em
colocada nesse campo sofre a ação de uma força elétrica

um ponto P, a uma distância r da carga Q. Como as cargas são

de módulo igual a 200 N.

puntiformes, o módulo da força elétrica F que atua sobre q

2. O campo elétrico em um ponto depende da carga geradora pode ser calculada pela Lei de Coulomb. Assim, podemos

do campo (carga fonte, Q) e não da carga que sofre a ação determinar o módulo do campo elétrico como: desse campo (carga de prova, q), pois, aumentando-se o

permanece constante. $F \propto \frac{Qq}{r^2} \Rightarrow E = \frac{F}{q} = \frac{kQ}{r^2}$
valor de q , o módulo de F também aumenta, e a razão F/q kQ
 q .



O campo elétrico é uma grandeza vetorial. Vamos, agora, Q e r determinar a sua direção e seu sentido.

Essa expressão reforça o fato de que o campo elétrico depende

Q e r da carga geradora do campo e não da carga de prova. De fato, $F \propto E$ em qualquer arranjo de cargas, o campo elétrico depende de + + - três elementos: $-q$ e 1. da(s) carga(s) geradora(s) do campo.

2. do meio onde as cargas se acham (note a constante da

Na figura anterior, temos uma carga Q , positiva, criando um Lei de Coulomb (k) na equação).

campo elétrico E no ponto P . Nesse ponto, foram colocadas duas 3. dos aspectos geométricos do campo (veja a presença da cargas de prova que sofrem a ação do campo gerado por Q . distância (r) na equação). É claro que a positiva sofre ação de uma força para a direita,

Aqui estão os gráficos do módulo do campo elétrico em função E e a negativa, de uma força para a esquerda.

do módulo da carga Q (carga fonte) e em função da distância

E F q_A do ponto até a carga fonte (r).

$-Q + F E E - P_R -$

$-q$

Agora, temos uma carga $-Q$, negativa, gerando um campo elétrico E no ponto P . Nele, foram colocadas duas cargas de prova que sofrem a ação do campo criado por $-Q$. Você sabe que a positiva sofre ação de uma força para a

$|Q| r$

esquerda, e a negativa, uma força para a direita.

92 Coleção Estudo

Campo elétrico

o VETOR CAMPO ELÉTRICO E AS $E E$

LINHAS DE FORÇA $Q -Q + -$

O campo elétrico criado por uma carga, assim como o campo gravitacional da Terra, não pode ser visto nem tocado. Para representá-lo, ou seja, para permitir uma “visualização” de

como ele é, desenhamos

1. o vetor campo elétrico, quando queremos saber como é Nelas, as linhas estão no plano do papel. Entretanto, as linhas o campo em um ponto do espaço. de força estão presentes em todo o espaço tridimensional em 2. as linhas de força do campo elétrico, quando estamos torno da carga. Será que isso lembra algum animal marinho? interessados em perceber como é o campo numa região

do espaço em torno da carga (diversos pontos ao mesmo Observe que as linhas de força do campo elétrico “**divergem**”

tempo). da carga **positiva** e “**convergem**” para a **negativa**. Isso é

Veja dois exemplos dos vetores campo elétrico em um fato verdadeiro, mesmo que a carga não seja puntiforme.

determinados pontos do espaço: Olhando para as linhas de força, notamos os pontos do espaço

nos quais o campo elétrico é mais intenso, assim como para

onde esse
campo
aponta.

E **E** As linhas de força do campo elétrico apresentam cinco **Q** propriedades importantes:

+ 1. O campo elétrico é mais intenso na região onde a

E concentração de linhas de força é mais elevada (maior

E densidade de linhas). Veja, nas figuras anteriores,

que as linhas estão mais próximas junto às cargas, o que

significa que aí o campo é mais intenso – inversamente

proporcional ao quadrado da distância r .

2. As linhas de força são desenhadas de forma que o vetor

E campo elétrico E , em cada ponto, seja **tangente** e no

–Q SICA

– mesmo sentido da linha de força que passa por esse **Fí**

E ponto. A força elétrica (F) que atua sobre uma carga q ,

colocada no ponto, também é um vetor tangente à linha

Foi possível notar a influência da distância r no tamanho do de campo elétrico, sendo orientada:

vetor campo elétrico, em cada um dos pontos em que foram A. no mesmo sentido da linha de força se $q > 0$. desenhados?

B. em sentido oposto à linha de força se $q < 0$.

Se a carga é negativa, os vetores, em todos os pontos

apontam para ela. Um fato importante a ser observado, + E Linha de Linha de conforme citado, é que o campo existe, em cada ponto, do espaço em torno dela, começam nesses pontos e Vetor campo elétrico $q F F -$

sem que seja necessário nele existir uma outra carga. força $-q$ força

A figura a seguir mostra os vetores campo elétrico em vários

isoladas e muito distantes uma da outra. 3. Duas ou mais linhas de força **nunca** se cruzam (ou seja, pontos em volta de uma carga positiva e de uma carga negativa,

por um ponto do espaço passa uma única linha de campo).

Mas, no **mesmo** ponto do espaço, podem haver **vários**

$\vec{E}$ $\vec{E}$ vetores campo elétrico, criados por cargas distintas.

Se duas cargas estivessem próximas, as linhas de força

+ Q geradas por cada uma individualmente se “cortariam”. - Q – Assim, a presença de outras cargas faz com que as linhas

de força sofram alterações em relação às linhas criadas por cada uma individualmente. Veja os vetores campo elétrico e uma linha de força gerados por um sistema de duas cargas pontuais, de mesmo módulo, próximas uma da outra, sendo uma positiva e a outra negativa.

Michael Faraday. Tais linhas dariam uma ideia de como seria o $\vec{E}$ As linhas de força do campo elétrico foram propostas por $\vec{E}$

campo elétrico no espaço, como um todo, em volta da carga. $\vec{E}$

Tomando a figura anterior e ligando-se os vetores por uma linha, $\vec{E}$ $\vec{E}$

teremos uma linha de força do campo elétrico. $\vec{E}$ $\vec{E}_n$

elétrico em torno das cargas pontuais positiva e negativa, As figuras a seguir mostram as linhas de força do campo Linha de $\vec{E}$ $\vec{E}$ força Q + - - Q isoladas e afastadas uma da outra.

Editora Bernoulli 93

Frente D Módulo 03

Os vetores **azuis** mostram os campos elétricos criados 5. O número de linhas que chegam à superfície do objeto,

pelas cargas **positiva, E** , e **negativa, E** (o tamanho ou que saem dela, é proporcional à quantidade de carga p_n

deles é função da distância até cada carga). Os vetores que o corpo possui. Veja a seguir.

verdes (a soma vetorial dos azuis em cada ponto)

mostram os campos resultantes em cada posição.

O traço vermelho é a linha de força do campo naquela região.

As figuras a seguir mostram como são as linhas de força $+4Q$

de um sistema de duas cargas pontuais de mesmo módulo $+ -Q$

– a figura à esquerda, com cargas de sinais opostos, e a

figura à direita, com cargas de mesmo sinal.

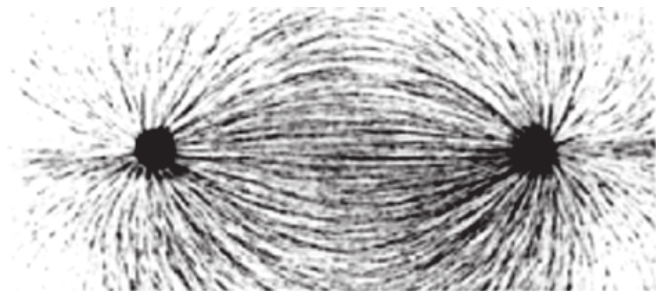
Observe que chegam apenas sete linhas à carga negativa

$+ -Q$, enquanto vinte e oito linhas saem da carga positiva $4Q$. $- + +$

o CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

a superfície de um óleo. Duas cargas pontuais foram múltiplas aplicações que ele possui. Ele é produzido por placas colocadas no recipiente. Note que o pó tende a se orientar planas eletrizadas e extensas. Considere a figura a seguir. A fotografia seguinte mostra pó de carvão colocado sobre O campo elétrico uniforme é muito importante, devido a

na direção das linhas de força em torno das cargas.



+
+
+
+
+
+
+
+
+
+
+
+

Tente imaginar, a partir das figuras, como são vistas as Veja que as linhas que saem das três cargas positivas

linhas de força no espaço tridimensional. Interessante, destacadas estariam se cruzando e, como sabemos, isso não

não? pode acontecer.

4. O vetor campo elétrico é sempre perpendicular à Considere duas placas eletrizadas com cargas de mesmo

superfície do objeto eletrizado que o gerou (quando módulo e bem distantes uma da outra. As linhas dos seus campos

esse objeto se encontra em equilíbrio eletrostático) e, de força, ao não se cruzarem, apresentam o comportamento

assim, as linhas saem ou chegam ao objeto, sempre mostrado a seguir. perpendicularmente à sua superfície.

Q -Q

Veja o campo elétrico no ponto A. Se ele pudesse ser + -

como foi desenhado, haveria uma componente do campo $E + E$
 $-- +$ tangente à superfície (E_T). $+ - + -- + E_P E + - + -- + -$
 $+ E + - A 90^\circ E + + T + + +$ Veja que, próximo às placas, na
 região central, as linhas $B + + 90^\circ$ são paralelas e igualmente
 espaçadas. Como sabemos, $+ + E$ o valor do campo é
 representado pela distância entre as linhas de $+ + D$ força.
 Assim, concluímos que em qualquer ponto dessa região, $+ +$ o
 campo apresenta o **mesmo valor**, a **mesma direção** e o $+ +$
mesmo sentido, ou seja, ele é um **campo uniforme**. Isso $+ +$
 $+ + + +$ significa que o módulo do campo elétrico uniforme
não varia

$C 90^\circ$ inversamente com o quadrado da distância à carga fonte.
 Observe

que o campo é uniforme apenas na região central da placa e para

E pontos próximos a ela (comparados à sua
 dimensão).

Essa componente faria as cargas se movimentarem em Como o
 campo tem a mesma intensidade em pontos centrais

torno da superfície do condutor. Num corpo em equilíbrio e
 próximos às placas, uma carga q receberá forças de mesmo

eletrostático, as cargas não se deslocam ao longo dele. módulo
 em qualquer um desses pontos em que for colocada.

Logo, tal componente não existe em um corpo que esteja A
 força que atua na carga positiva tem o mesmo sentido do

em equilíbrio eletrostático. campo e , na negativa, tem sentido
 contrário a ele.

Campo elétrico

Em No módulo sobre a Lei de Coulomb, vimos que um dielétrico pode ser atraído por um objeto eletrizado. Vejamos isso do ponto

q + de vista do campo elétrico. Considere um pedacinho de papel F
 q + F

próximo a um bastão eletrizado.

$$F - -q - -q F E$$

mesmo módulo e de sinais opostos, próximas uma da Se tivermos duas placas eletrizadas, com cargas de Q $q = 0 - F + R + + + + - + + - + F_A$ outra, os campos dessas irão se somar vetorialmente,

de modo que o campo resultante na região externa às

placas é nulo e, na região entre as placas, é uniforme.

Vamos considerar apenas a região **central** das placas. A parte do papel que está polarizada negativamente sofre

ação de uma força em sentido contrário à linha de força,

$Q - Q$ e a parte que está polarizada positivamente recebe uma força

$+$ no mesmo sentido dela. Como o campo não é uniforme (mais $-$

$+$ força resultante de atração. $- + + -$ Mas, o que acontecerá se o papel for colocado próximo a uma $+$ $-$ placa eletrizada? O papel, apesar de polarizado, não será atraído, $+$ $-$ negativa é maior

que a força na lateral positiva, gerando uma $- + -$ intenso onde as linhas estão mais próximas), a força na lateral $+ -$

$+ -$ nem repellido. O campo, sendo uniforme, tem o mesmo valor em $+ -$ qualquer ponto. Assim, as forças de atração e de repulsão têm o mesmo módulo (produzindo uma força resultante nula) e o

E pedacinho de papel permanecerá onde foi colocado.

$+ -$

$+ -$

$+ - + E$

$Q + - + F F Q_A - +_R + + - + q = 0 + -$
 $-Q + - + - + - + SICA - + + - + +$
 $F_I + -$

Fica como exercício você provar que, se as placas tivessem

MOVIMENTO DE UMA CARGA

cargas de mesmo valor e sinal, o campo existiria apenas na

região externa às placas e seria nulo na região entre elas.

ELÉTRICA EM UM CAMPO

A figura a seguir mostra uma carga puntiforme, positiva,

ELÉTRICO UNIFORME

colocada próximo a uma placa condutora, extensa e neutra.

A placa ficará induzida. Veja como são as linhas de força do campo elétrico na região entre a carga e a placa em duas e

A seguir, discutiremos alguns tipos de movimentos que um três dimensões.

objeto eletrizado, de peso desprezível, pode experimentar dentro de um campo elétrico uniforme.

1.º caso:

Q

A carga q é colocada em repouso ($v_0 = 0$) dentro do campo.

+

O campo, sendo uniforme, aplica sobre as cargas **forças constantes** e, portanto, essas possuem acelerações também

----- constantes. Como foram abandonadas, elas deslocam-se ao longo

+ + + + + + + + + da linha de força (a positiva, no sentido da linha e a negativa,

em sentido oposto), sempre aumentando o módulo de suas velocidades. Cada uma delas estará sujeita a um movimento retilíneo uniformemente acelerado.

$$+ v = 0_0$$

$$\begin{array}{ccccccc}
 - & - & - & F & E & - & - q & - & - & - & - & a & - & - & - & - & - & - \\
 - & - & - & - & F & - & - & - & - & - & - & q & - & - & - & + & - & - & - & - \\
 - & - & - & a & & & & & & & & & & & & & & & & &
 \end{array}$$

Editora Bernoulli 95

Frente D Módulo 03

2.º caso: EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

A carga q é lançada com uma velocidade v paralela à linha o de força ($v \parallel E$). o **01.** Uma carga pontual Q exerce sobre uma carga de prova

A situação é idêntica ao caso anterior em termos de forças $q = -2,0 \mu\text{C}$, uma força $F = 7,2 \times 10^{-2} \text{ N}$, horizontal e e acelerações (as forças e as acelerações são constantes). voltada para a esquerda, conforme está representado na

Temos aqui, porém, de considerar o sentido da velocidade inicial figura a seguir. As cargas estão no ar e a distância entre

em relação ao sentido da aceleração. Observe o que acontece se elas vale $r = 1,0 \text{ m}$.

as cargas são lançadas no mesmo sentido do campo. A) Determinar o sentido e o valor do campo elétrico no

ponto onde a carga q se encontra.

F a v B) Determinar o sinal e o módulo de Q . o --
q C) Construir o gráfico campo elétrico em função

da

E distância até Q (E x r).

$$q v_0 + -2 F = 7,2 \times 10^4 \text{ N/C}$$

—

As duas deslocam-se no mesmo sentido da linha de força $r = 1,0 \text{ m}$
 $q = -2,0 \mu\text{C}$

(sentido da velocidade inicial). As cargas desenvolvem

movimentos com aceleração constante. A positiva, cuja **Resolução:**

aceleração aponta para o mesmo sentido de v , aumenta sua v . A) Como $q < 0$, os vetores força e campo elétrico

velocidade. A negativa, cuja aceleração está oposta a v , tem o v o
apresentam sentidos opostos. Portanto, o campo

módulo de sua velocidade diminuído. Se acontecer de ela atingir
elétrico no ponto onde a carga q se encontra é

o repouso ainda dentro do campo, a situação torna-se idêntica
horizontal e voltado para a direita. O valor desse

à situação discutida no 1º caso. campo é:

Fica de "Para casa" a tarefa de determinar os movimentos das $F = 2 \times 10^4 \text{ N/C}$
 $E = 3,6 \times 10^4 \text{ N/C}$ - q

cargas lançadas em sentido oposto ao campo. $2 \times 10^4 \text{ N/C}$

3.º caso: B) As cargas Q e q possuem sinais opostos, pois a força
entre elas é atrativa. Como $q < 0$, concluímos que

à linha de força (A carga q é lançada com uma velocidade inicial $v_Q > 0$. O módulo de Q pode ser calculado a partir da perpendicular o expressão para o cálculo do campo gerado por uma $v \perp E$). o carga pontual:

atuam sobre essa carga têm, todo o tempo, sentido oposto ao
 Considere uma carga negativa. A aceleração e a força que $K Q \cdot 90^\circ$,
 $\times 10^9 \cdot Q E = \Rightarrow 3,6 \times 10^4 = r^2 \cdot 10^{-2}$,

do campo. A força e a velocidade inicial são perpendiculares $Q = 4,0 \times 10^{-6} \text{ C} = 4,0 \mu\text{C}$

entre si. Após o início do movimento, a força continua vertical C) O campo de uma carga puntiforme é inversamente

para baixo, mas a velocidade será tangente à trajetória. Logo, proporcional ao quadrado da distância até a

a força e a velocidade não são mais perpendiculares. Por isso, carga. Assim, o valor do campo em $r = 2,0 \text{ m}$

o movimento será parabólico, de velocidade de módulo crescente 3 em
 $r = 1,0 \text{ m}$ ($36 \times 10^3 \text{ N/C}$) é quatro vezes menor que
 N/C). Em $r = 3,0 \text{ m}$

e concavidade em sentido oposto ao campo – igual ao movimento ($E = 4,0 \times 10^3 \text{ N/C}$), o campo é nove vezes menor de uma moeda lançada de cima de uma mesa, por exemplo. que em $r = 1,0 \text{ m}$. Veja o gráfico a seguir.

$$-q v E (10^3 \text{ N/C}) - E 40$$

a

F 30

Como exercício, demonstre que uma carga positiva terá

movimento parabólico com a concavidade no mesmo sentido r (m) 1,0 2,0 3,0 do campo.

96 Coleção Estudo

Campo elétrico

02. Duas cargas pontuais de módulos (Q) iguais e de mesmo sinal existem nos vértices opostos de um quadrado. É chamado de rigidez dielétrica do isolante. Ele corresponde ao Determinar o módulo e o sinal de uma terceira carga (Q_x) **maior** valor que o campo elétrico (E) colocada em um dos vértices livres, de modo a fazer com ($E_{\text{máx}}$) pode possuir para que

o isolante continue com a capacidade de impedir o movimento que o campo resultante, no quarto vértice, seja nulo.

ordenado de cargas. O valor do campo máximo depende do

Resolução:

material.

As cargas (Q) produzem campos (E e E), cada um de

valor KQ/r^2 que, somados vetorialmente (diagonal de um Se a intensidade do campo ultrapassar a rigidez do

quadrado), dão como resultado $E = \sqrt{2}KQ/r^2$. meio, os elétrons são arrancados dos átomos, tornando-se

Q r r Q livres. Assim, os átomos fi cam ionizados e haverá movimento $-Q - + Q + -_{xx} r r^{12}$ ordenado de cargas através dele, ou seja, o meio, que era 12

E r $_3$ E elétrons arrancados se deslocam através dele. Se o meio for $_1$ E r isolante, se tornou um **condutor**. Sendo sólido, apenas os

Q E líquido ou gasoso, além de elétrons, íons positivos e negativos $_2 + -Q - r r$ também irão se movimentar. E $_2$ E $_3$

A terceira carga (Q E A rigidez dielétrica do ar, em condições normais, $_1$ E é $3,0 \times 10^6$ N/C. Algumas substâncias apresentam $_x$) deve produzir um campo (E $_3$) capaz

de anular o campo (E). Assim: rigidez bem superior ao ar, como é o caso da parafina

E = E (três vezes maior) e da mica (vinte vezes maior). Se o $_3$

Q $_x$ ar estiver muito úmido, esse valor cai sensivelmente.

K É o que acontece em dias de tempestade. As

nuvens, por $_2 = ^{12} K_2 Q ()$

2r r razões que não interessam aqui, fi cam eletrizadas com cargas

$|Q| = 2 |Q|$ positivas ou negativas. Isso induz uma carga de sinal

oposto $_x ^{12}$ **FÍSICA**

Observe que, para isso, ela deve ter sinal oposto ao das na superfície da Terra. Dessa forma, existe um campo elétrico

cargas Q. Portanto, a carga procurada é $Q = -2 Q$. entre a nuvem e a Terra. O valor do campo aumenta com a $_x ^{12}$

quantidade de cargas acumuladas na nuvem.

LEITURA CoMPLEMENTAR



A rigidez dielétrica de um isolante + + + + +
+ + + + + + + + +



Sabe-se, pelo estudo da eletrização, que um meio dielétrico -----



fi ca polarizado na presença de um corpo eletrizado. Apesar E



+

+

+



disso, não há movimento ordenado de cargas através dele. Vale, +

+



+



agora, observar o que acontece à medida que o valor do campo



elétrico vai aumentando. Vamos focar a nossa atenção nos + + +

+ + + + + + + + + + + + + + + +

elétrons polarizados que estão à esquerda do corpo mostrado

na fita a seguir. Se o campo ultrapassar o valor da rigidez dielétrica do ar,

$q = 0$ naquela região e naquele momento, ele se torna um condutor

F – e uma quantidade de carga se desloca entre a nuvem e a F_{EN} – Terra. É o famoso (e perigoso) raio ou faísca elétrica, comum



E em dias de chuva.



Cada um dos elétrons fica sob a ação de duas forças: a força E É possível calcular a quantidade de carga e de energia F_E ,



exercida pelo campo elétrico, e a força que se transfere entre uma nuvem e a Terra, durante uma F_N , de atração exercida



pelos núcleos, que é uma força um tanto limitada. Se o valor descarga desse tipo. Veremos como fazer isso no estudo dos



do campo vai aumentando, F_E aumenta na mesma proporção. capacitores.

Frente D Módulo 03

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

A) retilíneo e uniforme de A para B. B) retilíneo e uniforme de B para A.

C) retilíneo e uniformemente acelerado de B para A.

01. (UFMG) Um bastão de vidro M, eletrizado positivamente, D) retilíneo e uniformemente acelerado de A para B. é colocado nas proximidades de uma pequena esfera E) parabólico. metálica P, não eletrizada, suspensa por um fio leve de

material isolante. Observa-se que P é atraída por M.

Considere as afirmativas seguintes: **04.** (UFF-RJ) Estão representadas, a seguir, as linhas de força

do campo elétrico criado por um dipolo.

M P

+ + + +

I. Em virtude da indução eletrostática, na região de P

mais próxima de M, aparecerá carga negativa.

II. A carga positiva e a carga negativa induzidas em P Considerando-se o dipolo, afirma-se que

têm o mesmo valor absoluto. I. a representação das linhas de campo elétrico resulta

III. A esfera P é atraída por M porque o campo criado pela da superposição dos campos criados pelas cargas

carga de M não é uniforme. puntiformes.

Pode-se concluir que II. o dipolo é composto por duas cargas de mesma intensidade e sinais contrários. A) apenas a afirmativa I é correta. III. o campo elétrico criado por uma das cargas modifica B) apenas a afirmativa II é correta. o campo elétrico criado pela outra.

C) apenas as afirmativas I e II são corretas.

Com relação a essas afirmativas, conclui-se que

D) as afirmativas I, II e III são corretas.

A)
apenas
a I
é
correta.

E) apenas as afirmativas II e III são corretas.

B)
apenas
a
II é
correta.

02. (UFMG) A figura mostra, esquematicamente, as partes C) apenas a III é correta.

principais de uma impressora a jato de tinta. D) apenas a I e a II são

corretas.

E) apenas a II e a III são corretas.

P

Eletrizador

v **05.** (UFF-RJ) Três cargas elétricas pontuais, de módulos q e

sinais conforme indicados na figura, formam um triângulo

Gerador equilátero MNP. Assinale a alternativa que **MELHOR** Placas representa as direções e sentidos dos vetores: força de gotas defletoras Papel elétrica que atua na carga situada no ponto M e campo

elétrico existente nesse mesmo ponto.

Durante o processo de impressão, um campo elétrico é

aplicado nas placas defletoras, de modo a desviar as gotas M

(-)

eletrizadas. Dessa maneira, as gotas incidem exatamente

no lugar programado da folha de papel onde se formará,

por exemplo, parte de uma letra. Considere que as gotas

eletrizadas são negativas. Para que elas atinjam o ponto P

da figura, o vetor campo elétrico entre as placas defletoras

é **MELHOR** representado pelo vetor

A) ☐ C) ☐

B) ☐ D) ☐ (+) (-)

03. (UFES) A figura mostra duas placas metálicas que

produzem um campo elétrico uniforme. Uma partícula de **Força elétrica** **Campo elétrico**

inicial na posição da figura.

Desprezando-se a ação do A) ☐ massa m e carga q positiva é abandonada sem velocidade ☐

campo gravitacional, o movimento da carga é ☐ ☐ B)

+ E - C) ☐ + - ☐ + -

+ - q D) ☐ ☐ + -

A E) B ☐ + - ☐

98 Coleção Estudo

Campo elétrico

EXERCÍCIOS PROPOSTOS 04. (FEI-SP) Quanto à representação das linhas de força da figura a seguir, podemos afirmar que

01. (UFLA-MG-2008) Uma carga elétrica $Q > 0$ gera um campo elétrico E . Num ponto P , imerso nesse campo,

que fica sujeita a uma força elétrica q q coloca-se uma carga puntiforme q , a uma distância r de Q , F . Considerando 1 2

esse enunciado, as alternativas a seguir estão

corretas, **ExCETo**

Q P A) q_1 é positivo; q_2 é negativo e $|q_1| < |q_2|$. $q_1 +$

B) q é positivo; q é negativo e $|q| > |q|$. 2121

C) q é negativo; q é positivo e $|q| > |q|$. 2112

D) q_2 é negativo; q_1 é positivo e $|q_2| = |q_1|$.

E) q_2 é positivo; q_1 é negativo e $|q_2| < |q_1|$.

r

05. (FUVEST-SP) O campo elétrico de uma carga puntiforme

A) se $q > 0$, os vetores E e F possuem o mesmo sentido. em repouso tem, nos pontos A e B, as direções e sentidos

B) se $q < 0$, os vetores E e F possuem sentidos contrários. indicados pelas flechas na figura a seguir. O módulo do

C) se $q > 0$ ou $q < 0$, o campo elétrico em P independe de q . campo elétrico no ponto B vale 24 N/C. O módulo do campo

elétrico no ponto P da figura vale, em N/C,

D) se $q < 0$, os vetores E e F no ponto P se anulam.

02. (UFPE-2008) A figura ilustra duas placas não condutoras, A

paralelas e infinitas, com a mesma densidade uniforme

de cargas e separadas por uma distância fixa. A carga B

numa das placas é positiva, e na outra é negativa. Entre

as placas, foi fixada uma partícula de carga negativa $-Q$, P

na posição indicada na figura. Determine em qual dos

pontos o módulo do campo elétrico resultante tem o A) 3. B) 4. C) 3

¹2. D) 6. E) 12.

MAIOR valor. SICA

— a x + + — fixas em pontos equidistantes do ponto
O. — + Y — + —Q — — + cargas de mesmo módulo e de
sinais contrários, mantidas **FÍ 06.** (UFMG) A
figura mostra duas esferas carregadas com — x + x x

— b + c d

— +

— + — + P O Q — e + x

+

— +

A) x a B) b C) c D) d E) e

03. Considerando essa situação, é **CoRRETo** afirmar que o

(FEPECS-DF-2006) A figura mostra um trecho de uma campo elétrico
produzido pelas duas cargas

linha de força de um campo eletrostático. Uma partícula

de massa m e carga positiva q é abandonada em repouso A) não
pode ser nulo em nenhum dos pontos marcados.

no ponto A. B) pode ser nulo em todos os pontos da linha XY.

A C) pode ser nulo nos pontos P e Q.

C B D) pode ser nulo somente no ponto O.

07. (UFMG–2006) Duas pequenas esferas isolantes, I e II,

Suponha que a força eletrostática seja a força resultante eletricamente carregadas com cargas de sinais contrários,

sobre a partícula. Nesse caso, a partícula estão fixas nas posições representadas nesta figura:

A) se moverá ao longo da linha de força de A para o

+ –

ponto B. P Q R S

I II

B) permanecerá em repouso no ponto A.

C) não seguirá a linha de força, mas sua aceleração inicial A carga da esfera I é positiva e seu módulo é maior que

é tangente à linha no ponto A e com sentido para a o da esfera II.
Guilherme posiciona uma carga pontual

esquerda. positiva, de peso desprezível, ao longo da linha que une
essas duas esferas, de forma que ela fique em equilíbrio.

D) se moverá ao longo da linha de força no sentido de

Considerando-se essas informações, é correto afirmar que

A para o ponto C.

o ponto que **MELHOR** representa a posição de equilíbrio

E) não seguirá a linha de força, mas sua aceleração inicial da carga pontual, na situação descrita, é o

é tangente à linha no ponto A e com sentido para a
direita. A) R. B) P. C) S. D) Q.

Frente D Módulo 03

08. A) negativa e a resultante das forças sobre a gota não (Unifor-CE-2010) Um fenômeno atmosférico bastante

comum é o acúmulo de carga elétrica nas nuvens. Imagine é nula.

que uma nuvem tenha adquirido uma grande quantidade B) positiva e a resultante das forças sobre a gota é nula.

de carga, de modo que o campo elétrico E , criado em um C) negativa e a resultante das forças sobre a gota é nula. ponto próximo da superfície da Terra, seja muito intenso. D) positiva e a resultante das forças sobre a gota não é Este campo exerce uma força sobre uma partícula de nula. massa m carregada com uma carga q capaz de anular seu

peso. Se a direção deste campo for vertical e o sentido **11.** (UFV-MG-2010) Um feixe contendo radiações alfa (α),

para baixo, podemos concluir que esta partícula

beta (β) e gama (γ) entra em uma região que possui

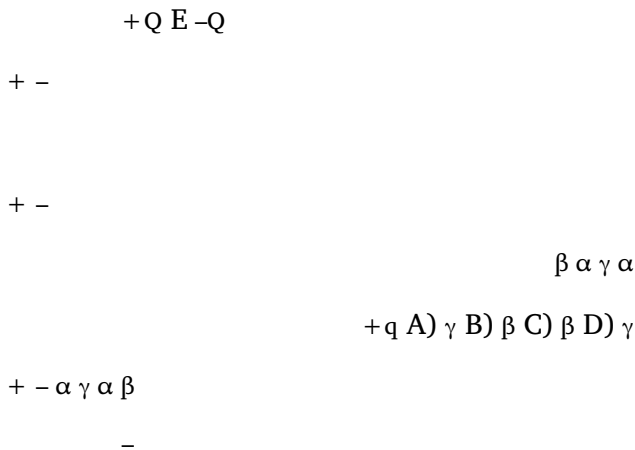
A) tem uma carga positiva e de valor $q = E/mg$. um campo elétrico uniforme E (como mostra a figura a

B) tem uma carga positiva e de valor $q = mg/E$. seguir).
Considerando apenas a interação das radiações

C) tem uma carga positiva e de valor $q = mgE$. com o campo elétrico, a alternativa que representa **Corretamente** a trajetória seguida por cada tipo de D) tem uma carga negativa e de valor $q = E/mg$. radiação dentro da região com campo elétrico é:

E) tem uma carga negativa e de valor $q = mg/E$.

09. (UFMG) Observe a figura. α , β , γ



+ **12.** (UFPeL-RS) Um pequeno corpo carregado positivamente e de peso desprezível é lançado em um campo elétrico

O campo elétrico entre duas placas carregadas com cargas uniforme, com velocidade inicial de sentido oposto ao do

iguais, mas de sinais contrários, é uniforme. vetor campo elétrico. O movimento do corpo poderá ser,

A respeito da força elétrica que atua sobre uma carga $+q$, A) inicialmente, retilíneo uniformemente retardado e colocada entre as referidas placas, pode-se afirmar que depois retilíneo uniformemente acelerado. A) aumenta à medida que a carga $+q$ se distancia da

placa negativa. B) inicialmente, retilíneo uniformemente acelerado e

B) é inversamente proporcional à distância de $+q$ à placa depois retilíneo uniformemente retardado.

negativa. C) inicialmente, retilíneo e uniforme e depois retilíneo

C) é inversamente proporcional à distância de $+q$ à placa uniformemente retardado. positiva.

D) é nula, qualquer que seja a posição de $+q$ entre as D) sempre,

retilíneo uniforme.

placas. E) sempre, retilíneo uniformemente acelerado.

E) tem o mesmo valor, qualquer que seja a posição de

+ q entre as placas. **13.** (UFU-MG) As linhas de força de um campo elétrico

que estão no plano da folha são mostradas na figura.

10. (UFMG) Em um experimento, o Professor Ladeira observa o Uma partícula eletrizada positivamente é lançada

movimento de uma gota de óleo, eletricamente carregada, perpendicularmente às linhas de força do campo elétrico.

entre duas placas metálicas paralelas, posicionadas Desprezando a ação do campo gravitacional, podemos

horizontalmente. A placa superior tem carga positiva e a concluir que

inferior, negativa, como representado nesta figura: E

+ + + +

+ Placa superior + + +

Gota

— — — A) a partícula será desviada para baixo.

— Placa inferior — — — B) a partícula descreverá um movimento retilíneo

uniform

Considere que o campo elétrico entre as placas é uniforme C) a partícula será acelerada, com uma trajetória

e que a gota está apenas sob a ação desse campo e retilínea.

da gravidade. Para um certo valor do campo elétrico, D) a partícula

adquirirá uma aceleração constante e de

o Professor Ladeira observa que a gota cai com velocidade sentido contrário ao vetor velocidade.

constante. Com base nessa situação, é **CoRRETo** afirmar E) a partícula executará um movimento harmônico

que a carga da gota é simples.

100 Coleção Estudo

Campo elétrico

14. (UFMG) Na figura, um elétron desloca-se na direção **SEção** **ENEM**

x_1 , com velocidade inicial v_0 . Entre os pontos x_1 e x_2 ,

existe um campo elétrico uniforme, cujas linhas de força **01**. A poluição do ar é o mais perverso dos problemas

também estão representadas na figura. Despreze o peso

ambientais urbanos. Ela mata sem que se perceba.

do elétron nessa situação. Considerando a situação

descrita, assinale a alternativa cujo gráfico **MELhoR** O relatório 2008 / 2009 do Habita (programa das Nações

descreve o módulo da velocidade do elétron em função Unidas para Assentamentos Humanos) informa que nos

de sua posição x . países da América Latina e no Caribe ocorrem 58 000

v_0 do ar. A razão óbvia é de que a acelerada expansão da frota mortes prematuras por ano por doenças ligadas à poluição

e- de automóveis e de fábricas não se fez acompanhar de leis e mecanismos de controle, muito menos de tecnologia de filtragem de partículas.

A) v Adaptação de texto publicado em 12 jan. 2009, no blog

“Ambiente”, de Ronaldo França, da Revista *Veja*.

v_0

Um dispositivo capaz de reduzir até 99% das emissões de partículas no ar são os filtros eletrostáticos. O esquema a seguir mostra um filtro eletrostático simples, cujo

B) v

princípio de funcionamento é o seguinte. A bateria eletriza

o cilindro e o fio central, ambos metálicos, com cargas

de sinais opostos. Por isso, aparece um campo elétrico

entre as paredes internas do cilindro e o fio. O resultado

C) é que as partículas de fumaça são atraídas e retidas pelo v

v sistema da mesma forma como um pente eletrizado atrai o

pedacinhos de papel. **SICA**

$0 \times 0 \times x \times F_{12}$

D) v

v_0

15. (FUVEST-SP) Duas pequenas esferas, com cargas elétricas iguais, ligadas por uma barra isolante, são inicialmente colocadas como descrito na situação

I. Em seguida, aproxima-se uma das esferas de P, reduzindo-se à metade sua distância até esse ponto, ao mesmo tempo em que se duplica a distância entre a outra esfera e P, como na situação II. O campo elétrico em P, no plano que contém o centro das duas

Sobre o campo elétrico no interior do fio e sobre o esferas, possui, nas duas situações indicadas,

movimento das partículas de fumaça, é correto afirmar

P P que

A) o campo é uniforme, e as partículas são atraídas pelo

fio
central

B) o campo é uniforme, e as partículas serão atraídas pelo cilindro.

Situação I Situação II C) o campo é uniforme, e as partículas são atraídas pelo

A) mesma direção e intensidade. cilindro e pelo fio.

B) direções diferentes e mesma intensidade. D) o campo é não uniforme, e as partículas são atraídas

C) mesma direção e maior intensidade em I. pelo fio central.

D) direções diferentes e maior intensidade em I. E) o campo é não uniforme, e as partículas são atraídas

E) direções diferentes e maior intensidade em II. pelo fio e pelo cilindro.

Editora Bernoulli 101

Frente D Módulo 03

02. Considere um aparelho de iluminação computadorizada Ionosfera hipotético, cujo objetivo é alternar cores diversas em

função da música que está tocando no ambiente. Cada cor de luz emitida pelo aparelho é função da posição em que os elétrons (e), ejetados da parte de trás do dispositivo e que se deslocam dentro de um tubo de vidro, atingem o gerador de cores (G), mostrado a seguir. Essa distribuição de cores corresponde ao gerador visto por quem olha pela tela do aparelho. Se o elétron passa pelo interior de qualquer dos setores do gerador, a tela emite luz correspondente à cor do setor. Se o elétron passa exatamente pelo centro do gerador, a tela será iluminada por luz branca. Se o elétron passa na linha que separa dois setores, a luz do aparelho será uma combinação das

duas cores desses setores. Dessa forma, existe um campo elétrico radial entre

a ionosfera e a superfície da Terra e o seu valor é da

ordem de 100 N/C. Se todas as indústrias e os veículos automotores tivessem um dispositivo capaz de eletrizar G negativamente, de maneira conveniente, as partículas que geram a poluição, elas seriam levadas para a alta atmosfera e a qualidade do ar ficaria dentro de padrões aceitáveis. Para que a proposta seja viável,

Dentro do aparelho, existem dois pares de placas A) as partículas poluentes devem ser eletrizadas com

metálicas, CB e DE, entre as quais se estabelece um carga superior a 10^{-12} C, e o campo elétrico deve

campo elétrico vertical (E_v) e outro horizontal (E_H), apontar para a superfície da Terra.

respectivamente. A função desses campos é desviar

o elétron para o setor desejado do gerador de cores. -12 B) as partículas poluentes devem ser eletrizadas com

Sabe-se que a força elétrica, sobre determinada carga inferior a 10 C, e o campo elétrico deve

carga, é proporcional ao módulo do campo elétrico. apontar para a superfície da Terra.

Veja o esquema do aparelho na figura a seguir. C) as partículas poluentes devem ser eletrizadas com

C carga superior a 10^{-12} C, e o campo elétrico deve

e D apontar para a ionosfera. Tela G D) as partículas poluentes devem ser eletrizadas com – carga inferior a 10^{-12} C, e o campo elétrico deve



Observador apontar
para a ionosfera.

B E E) as partículas poluentes devem ser eletrizadas com
carga de qualquer valor, desde que o campo elétrico

Num determinado instante, os campos elétricos vertical (E) v aponte
da ionosfera para a Terra.

e horizontal (E) têm sentidos para baixo e para a esquerda, H
respectivamente, quando vistos pelo observador.

Os módulos desses campos são
tais que $E > E$. H v **GABARITO** Assim,
nesse instante, o iluminador estará emitindo luz

A) vermelha. D) verde.

B) amarela. E) alaranjada. **Fixação**

C) azul.

01. D 02. A 03. D 04. D 05. D

03. A poluição atmosférica é uma das grandes ameaças

Propostos à saúde da população em geral. Ela é
consequência,

entre outras coisas, da industrialização e da combustão

incompleta de combustíveis fósseis. Uma das mais 01. D 04. B 07. C
10. C 13. A

perigosas são as partículas ultraleves, de peso da ordem

de 10^{-10} N, geralmente invisíveis ao olhar das pessoas. 02. D 05. D
08. E 11. A 14. A

Tais partículas ficam em suspensão no ar atmosférico,
sendo inaladas durante a respiração, e são responsáveis 03. E 06. A
09. E 12. A 15. B

por uma série de problemas respiratórios. Um grupo de

cientistas propôs uma maneira de minimizar o problema, Seção

Enem

usando um recurso bem natural: o campo elétrico que

existe em volta do planeta. A Terra apresenta em sua
superfície um excesso de cargas e o espaço, logo acima 01. D 02. C
03. A

da ionosfera, tem um excesso de cargas de sinal oposto.